

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ ТА МАШИН

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено
Завідувач кафедри

(підпис) В.Б.Струтинський
(ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2018 р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування

на тему Схвати мобільних роботів для маніпулювання небезпечними об'єктами

Виконав (-ла): студент (-ка) _____ ІІ курсу , групи МВ – 61м

Субота Дмитро Юрійович

(прізвище ім'я по батькові)

(підпис)

Науковий керівник

к.т.н., доц. Кравець О.М.

(вчена ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант з розділу

(вчена ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент:

Доц. каф. ТМ, к.т.н., доц. Лапковський С.В

(посада, наукова ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ - 2018

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
ім. Ігоря Сікорського”
Механіко-машинобудівний інститут
Кафедра конструювання верстатів та машин

Рівень вищої освіти другий (магістерський) за освітньо-науковою
програмою

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
Спеціалізація «Металорізальні верстати та системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В.Б.Струтинський
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 201_ р.

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ

Суботі Дмитру Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Схвати мобільних роботів для маніпулювання
небезпечними об'єктами

науковий керівник дисертації Кравець О.М. к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від “15” березня 2018 року № 934-с

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження _____

4. Предмет дослідження _____

5. Перелік завдань, які потрібно розробити _____

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу _____

7. Орієнтовний перелік публікацій _____

8. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка

Студент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Науковий керівник дисертації _____

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на здобуття ступеня магістра зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», виконана на тему «Схвати мобільних роботів для маніпулювання небезпечними об'єктами». Автор Субота Дмитро Юрійович.

Робота складається з 4-х розділів та 1 додатку. Графічна частина магістерської дисертації виконана у вигляді презентації на _____ кадрів, пояснювальна записка містить _____ сторінок тексту, _____ малюнків та _____ таблиць.

Об'єкт дослідження: система маніпулювання об'єктами мобільного робота

Предмет дослідження: способи затиску об'єктів пружними фіксуючими елементами,

Метою роботи є розробка затискних механізмів з використанням нових матеріалів та нових фізичних принципів роботи цих механізмів.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні **задачі**:

1. Виконати патентно-інформаційне дослідження для того щоб з'ясувати необхідні технічні та експлуатаційні характеристики механізму затиску робота-маніпулятора.

2. Розробка нових конструктивних рішень затискних механізмів з використанням адаптивних елементів в їх конструкції.

3. Створення математичних та розрахункових моделей для дослідження процесу затиску розробленими конструкціями захватних механізмів.

4. Виконати моделювання процесу затиску розробленими конструкціями захватних механізмів.

При виконанні роботи розроблено нову конструкцію механізму захвату мобільного робота. В основу конструкції покладено модульний принцип. На основі модуля затискного елемента можливо розробити різноманітні

модифікації захватного механізму призначені для здійснення маніпуляцій об'єктами різної форми та розміру.

В процесі розробки створено моделі для здійснення моделювання засобами модуля «Аналіз напружень» CAD Inventor напружено деформованого стану пружного елемента механізму захвату мобільного робота. Виконане моделювання напружено-деформованого стану для великої кількості конструктивних параметрів пружного елемента.

Створено та реалізовано засобами “Matlab” математичні моделі процесу затиску, отримані в процесі моделювання дані використані при підборі раціональних параметрів конструкції механізму захвату.

Результати розробки доповідались та були опубліковані в 2-х тезах Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів «Інновації молоді - машинобудуванню» Секція "Машинобудування". За результатами розробки подано заявку на патент України на корисну модель.

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация на соискание степени магистра по специальности 133 «Отраслевое машиностроение», выполненная на тему «Схваты мобильных роботов для манипулирования опасными объектами». Автор Субота Дмитрий Юрьевич.

Работа состоит из 4-х разделов и 1 приложения. Графическая часть магистерской диссертации выполнена в виде презентации на ____ кадров, пояснительная записка содержит ____ страниц текста, ____ рисунков и ____ таблиц.

Объект исследования: система манипулирования объектами мобильного робота

Предмет исследования: способы зажима объектов упругими фиксирующими элементами,

Целью работы является разработка зажимных механизмов с использованием новых материалов и новых физических принципов работы этих механизмов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

1. Выполнить патентно-информационное исследование для того чтобы выяснить необходимые технические и эксплуатационные характеристики механизма зажима робота-манипулятора.

2. Разработка новых конструктивных решений зажимных механизмов с использованием адаптивных элементов в их конструкции.

3. Создание математических и расчетных моделей для исследования процесса зажима разработанными конструкциями захватывающих механизмов.

4. Выполнить моделирование процесса зажима разработанными конструкциями захватывающих механизмов.

При выполнении работы разработана новая конструкция механизма захвата мобильного робота. В основу конструкции положен модульный

принцип. На основе модуля зажимного элемента возможно разработать различные модификации захватного механизма предназначены для осуществления манипуляций объектами различной формы и размера.

В процессе разработки созданы модели для осуществления моделирования средствами модуля «Анализ напряжений» CAD Inventor напряженно деформированного состояния упругого элемента механизма захвата мобильного робота. Выполнено моделирование напряженно-деформированного состояния для большого количества конструктивных параметров упругого элемента.

Создан и реализован средствами "Matlab" математические модели процесса зажима, полученные в процессе моделирования данные использованы при подборе оптимальных параметров конструкции механизма восторга.

Результаты разработки докладывались и были опубликованы в 2-х тезисах Всеукраинской научно-технической конференция молодых ученых и студентов «Инновации молодежи - машиностроению» Секция «Машиностроение». По результатам разработки подана заявка на патент Украины на полезную модель.

SUMMARY

Master's thesis for master's degree in specialty 133 "Sectoral engineering", performed on the theme "Screw mobile robots for manipulation of hazardous objects". Posted by Dmitry Yuryevich Subota.

The work consists of 4 sections and 1 application. The graphic part of the master's dissertation is executed in the form of a presentation on ____ frames, the explanatory note contains ____ pages of text, ____ drawings and ____ tables.

Object of research: system of manipulation of objects of mobile robot

Subject of research: methods of clamping objects with elastic fixing elements,

The aim of the work is to develop clamping mechanisms using new materials and new physical principles of the work of these mechanisms.

To achieve this goal, the following tasks must be solved:

1. Perform a patent-information study in order to find out the necessary technical and operational characteristics of the clamping mechanism of the robot-manipulator.

2. Development of new constructive solutions of clamping mechanisms using adaptive elements in their design.

3. Creation of mathematical and calculation models for studying the process of clamping developed designs of gripping mechanisms.

4. Perform the modeling of the clamping process by the design of the gripping mechanisms.

When performing the work, a new design of the mobile robot capture mechanism was developed. The basis of the construction is the modular principle. Based on the module of the clamping element it is possible to develop various modifications of the gripping mechanism intended for manipulation of objects of different shapes and sizes.

In the course of development, models for simulation by means of the module "Analysis of stresses" of CAD Inventor have been created for the strained state of

the elastic element of the mobile robot capture mechanism. A simulated stress-strain state for a large number of structural parameters of an elastic element is performed.

The mathematical models of the process of clamping, obtained during the simulation, are used to create and implement the Matlab tools. The data used in selecting the rational parameters of the design of the capture mechanism.

The results of the development were reported and published in the 2 theses of the All-Ukrainian Scientific and Technical Conference of Young Scientists and Students "Innovations in Youth - Mechanical Engineering" Section "Mechanical Engineering". As a result of the development, an application for the patent of Ukraine for the utility model has been submitted.

ЗМІСТ

Вступ	11
Розділ 1	11
1 Результати патентно-інформаційні дослідження	11
1.1 Загальні вимоги до захватів мобільних роботів	11
1.2 Приклади промислових зразків захватних пристроїв роботів.	20
1.3 Традиційні методи розрахунку зусиль затиску	27
1.4 Результати патентного пошуку	33
Висновки по розділу 1	46
Розділ 2	47
2 Розробка конструкції захвату мобільного робота	47
Висновки по розділу 2	54
Розділ 3	55
3 Моделювання деформації пружного елемента	55
3.1 Загальна методика модельного експерименту	55
3.2 Результати моделювання	64
Висновки по розділу 3	76
РОЗДІЛ 4	77
4.1 Моделювання навантажень на привод захватного механізму	77
Висновки	81
Список використаних джерел	82
Додаток А	84

ВСТУП

Однією з основних найважливіших моделей в суспільстві є сприйняття людського життя в якості вищої цінності. Подібні гуманістичні ідеї вступають в конфлікт з необхідністю вести бойові дії та відправляти військовослужбовців захищати державні інтереси. Загибель солдат не тільки не відповідає цінностям в суспільстві, а також погано сприймається виборцями, до думки яких прислуховуються політики.

Сучасні армії по всьому світу роблять все можливе, щоб зменшувати кількість людських втрат. Вояк забезпечують найновітнішими технологіями, екіпіруванням, системами зв'язку, бронюванням та іншим. Більшість бойових операцій які проводять різні країни, такі як США, намагаються вести тільки в безвихідних ситуаціях, обмежуватись повітряними та ракетними ударами. Але в більшості випадків перемогти війну без наземних операцій не можливо.

Для збереження людських життів, найбільш гуманним рішенням у цій проблематиці може стати заміна солдат на полі бою роботами. Активні розробки в цьому напрямленні проводяться в багатьох країнах світу. Вже сьогодні автоматизовані бойові системи широко використовуються в багатьох гарячих точках світу. Роботи вже успішно знешкоджують різні міни, фугаси, виконують розвідку та проводять нагляд.

Використання автоматизованих систем на полі бою – вже є однією з найбільш перспективних напрямлень для розвитку воєнної справи.

Що стосується летальних систем озброєння в області військової робототехніки то суспільство категорично проти виробництва та випуску таких машин.

Багато впливових вчених та бізнесменів закликають підтримувати компанію по припиненню роботів-вбивць (Stop Killer Robots). Одну з світових коаліцій, яка є ініціатором ідеї заборони розробки та виробництва систем летальної зброї. Такі заклики є суттєво важливими, оскільки зазначають, що виробники робототехніки мають залучатися до активної

участі в процесі розробки етичних і правових норм роботизованого майбутнього. Таким чином створюється певний прецедент корпоративно-соціальної відповідальності при переході суспільства до масового випуску роботів.

Але насамперед потрібно зазначити, що не всі військові роботи це погано. Різні компанії ведуть діяльність з розробки роботів саперів для очищення мінних полів. Роботи-сапери не підлягають осуду, вказуючи на існування військових роботів різного призначення. Їх використовують для деактивації вибухових пристроїв. Роботи-сапери обстежують підозрілі об'єкти і, таким чином, не піддають небезпеці солдатів. Вони керуються операторами на безпечній відстані, а орієнтування відбувається по моніторам. Камери встановлюють в декількох місцях пристрою, включаючи механічну «руку» робота.

Отже, можна сказати, що використання робота-сапера, так чи інакше, має безліч вигідних переваг. Основний плюс полягає в тому, що якщо він під час операції буде «принесений в жертву», люди залишаться в безпеці.

Розділ 1

1 Результати патентно-інформаційні дослідження

1.1 Загальні вимоги до захватів мобільних роботів

Основною з найважливіших конструктивних елементів роботів-саперів є захватний пристрій.

«Захватні пристрої роботів і маніпуляторів служать для захоплення і утримання в певному положенні об'єктів маніпулювання. Ці об'єкти можуть мати різні розміри, форму, масу і володіти різноманітними фізичними властивостями, що потребують застосування захватних пристроїв різного характеру. Тому такі пристрої відносяться до числа змінних елементів роботів. Іноді на захвати встановлюють змінні робочі елементи (губки, присоски і т.д.).

До захватних пристроїв пред'являються вимоги як загального характеру, так і спеціальні, пов'язані з конкретними умовами роботи. До числа обов'язкових вимог відносяться надійність захоплення й утримання об'єкта, неприпустимість його пошкодження або руйнування, стабільність базування. Пред'являються підвищені вимоги до міцності при одночасному забезпеченні малих габаритів і маси. Особлива увага звертається на надійність кріплення захватних пристроїв до робота чи маніпулятора.» [1]

Дослідник Іванов А. А. визначає таку «класифікацію захватних пристроїв:

- *За принципом дії* всі захватні пристрої можна розділити на три групи: механічні; вакуумні; магнітні (рис. 1.1).

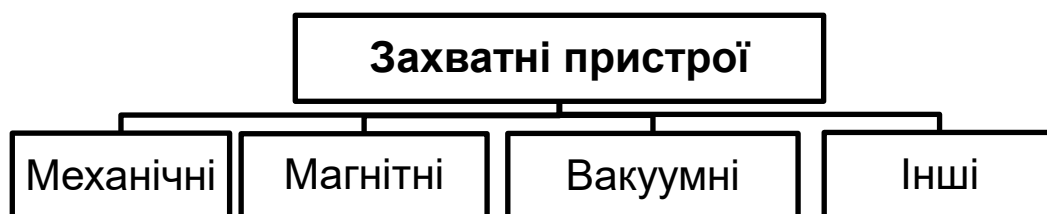


Рис.1.1 класифікація захватних пристроїв по принципу дії

До інших можна віднести захватні пристрої з еластичними камерами, безконтактні струмові та електростатичні схвати.

Далі можна розділити захватні пристрої за їх класифікаційними признаками.

- За способом утримання об'єкта (рис. 1.2).

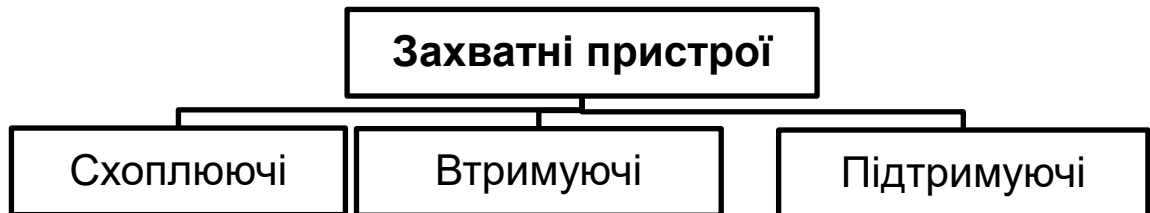


Рис.1.2 Класифікація захватних пристроїв за способом утримання

Схоплюючі захватні пристрої утримання об'єкта завдяки кінематичному впливу робочих елементів (губок, пальців, кліщів) за допомогою сил тертя, тиску та інших замикаючих сил. Ці пристрої даного типу можна умовно розділити на дві групи: механічні (кліщі, лещата, шарнірні пальці) і з еластичними робочими камерами, які можуть деформуватися під дією нагнітання в середину стиснутого повітря або рідини.

Втримуючі забезпечують силовий вплив на об'єкт завдяки використанню різних фізичних ефектів. Ці пристрої можна розділити на три групи: вакуумні та магнітні, які є найбільш поширені, та ті які використовують ефект електростатичного притягання, адгезії та ін.

В підтримуючих захватних пристроях для утримання об'єкта використовують нижню поверхню, виступаючі частини об'єкта або наявні в його корпусі отвори. До відносять крюки, петлі, вилки, лопатки і захоплення пітатель, що не затискають захватуваний об'єкт.

- *За способом дії* можна розділити на дві групи : *неприводні* (наприклад, з використанням пружини) і *приводні* (рух схвату приводиться в дію за допомогою привода).

- *За способом захвату* об'єкта: зовнішні і внутрішні.

Також можна розділити захватні пристрої по *типу управління* (рис.1.3)



Рис. 1.3 Класифікація захватних пристроїв по виду управління

Некеровані – це пружинні механічні пристрої з постійними магнітами або з вакуумними присосками без примусового розрідження. Для зняття об'єкта з таких затискних пристроїв потрібно зусилля більше, ніж зусилля його утримання.

Командні керуються тільки командами на захоплення або відпускання об'єкта. До цієї групи відносять захватні пристрої з пружинним приводом, оснащені стопорними пристроями і спрацьовують через такт.

Програмовані захватні пристрої керуються сигналами системи управління. Величина переміщення губок, взаємне розташування робочих елементів, зусилля затиску в таких пристроях можуть змінюватися за програмою, яка може керувати і дією технологічних пристосувань.

Адаптивні – це програмовані пристрої, оснащені різними датчиками зовнішньої інформації (визначення форми поверхні, маси об'єкта, зусилля затиску, і т.д.).

За характером кріплення захватного пристрою до руки маніпулятора (рис. 1.4)

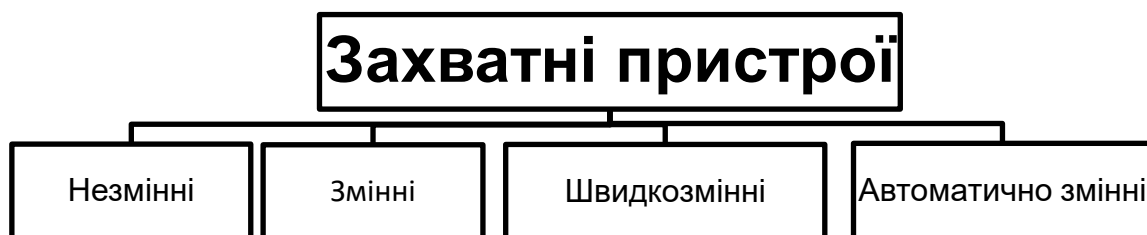


Рис. 1.4 Класифікація захватних пристроїв за характером кріплення захватного пристрою до маніпулятора

Незмінні захватні пристрої, заміна таких пристроїв не передбачається конструкцією.

Змінні – це пристрої, які являють собою окремі самостійні вузли в яких передбачено кріплення до руки маніпулятора.

Швидкозмінні – це змінні, у яких конструкція для кріплення пов'язаних конструктивних елементів відповідно до маніпулятора дає змогу на їх швидку зміну.

Автоматично змінні – це пристрої, у яких конструктивно закладено можливість закріплення захватного пристрою автоматично на руці маніпулятора.» [2]

Механічні захватні пристрої

Одними з найбільш поширених в машинобудуванні є механічні захватні пристрої.

«Можна виділити сім груп конструктивних схем які найбільш часто застосовуються на практиці,: важільні; кулісно-важільні; рейково-важільні; клино-важільні звичайного виконання; клино-важільні з плоскопаралельним переміщенням губок; пружинні; багатоланкові» [3] (рис. 1.4).

«Такі захватні пристрої можуть обладнуватися електро, пневмо або гідро приводами. Кожен з перерахованих приводів має свої переваги та недоліки.

Перевагою пневмопривода – є його простота конструкції, зручність підведення енергії, відсутність течі, легкість регулювання зусилля затиску, можливість використання в агресивних середовищах і зонах високих температур. Недолік – це великі габаритні розміри при порівняно малих зусиллях затиску.

Гідропривід зазвичай застосовують там, де необхідні значні зусилля затиску об'єкта при невеликих габаритних розмірах приводу. Він також дозволяє легко регулювати зусилля затиску. Електропривод знаходить поки обмежене застосування.» [4]

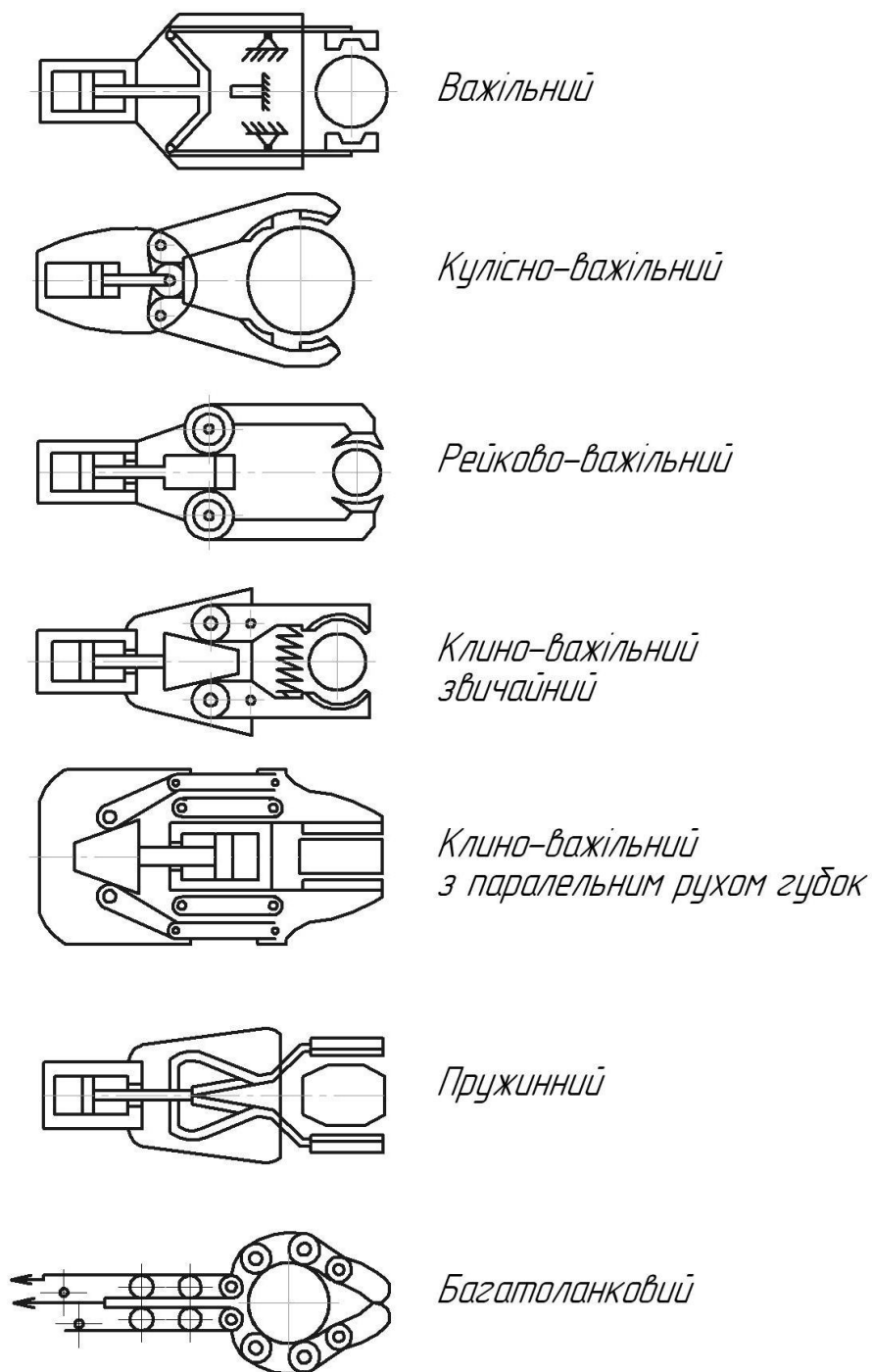


Рис. 1.4 Конструктивні схеми механічних затискних пристроїв

Вакуумні захватні пристрої

Дослідник Іванов А. А. зазначає, що «вакуумні захвати застосовуються в основному для маніпулювання плоскими деталями, зокрема, заготовками з листових матеріалів. Але можуть захоплювати й об'єкти складних форм в залежності від конструкції затискної камери. Вакуумні затискні пристрої мають простоті конструкції, невелику масу і можливість роботи з деталями з

різних матеріалів (металів, пластмас, кераміки, скла і т.д.). Так за способом дії їх можна розділити на дві групи: з автономним джерелом у вигляді вакуумного насоса та ежекторні.» [5] (рис. 1.5, а, б).

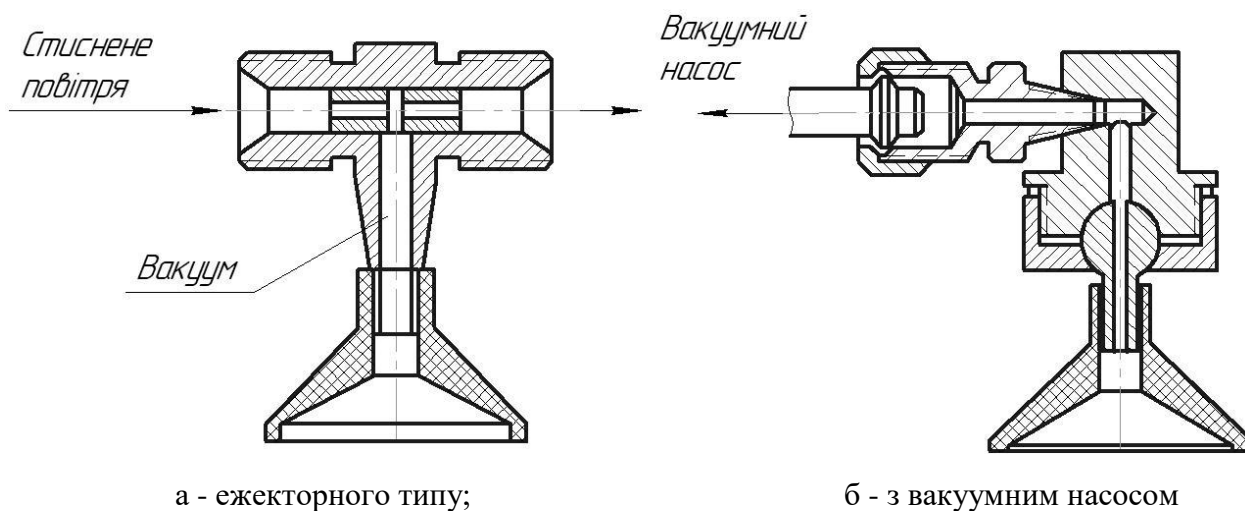


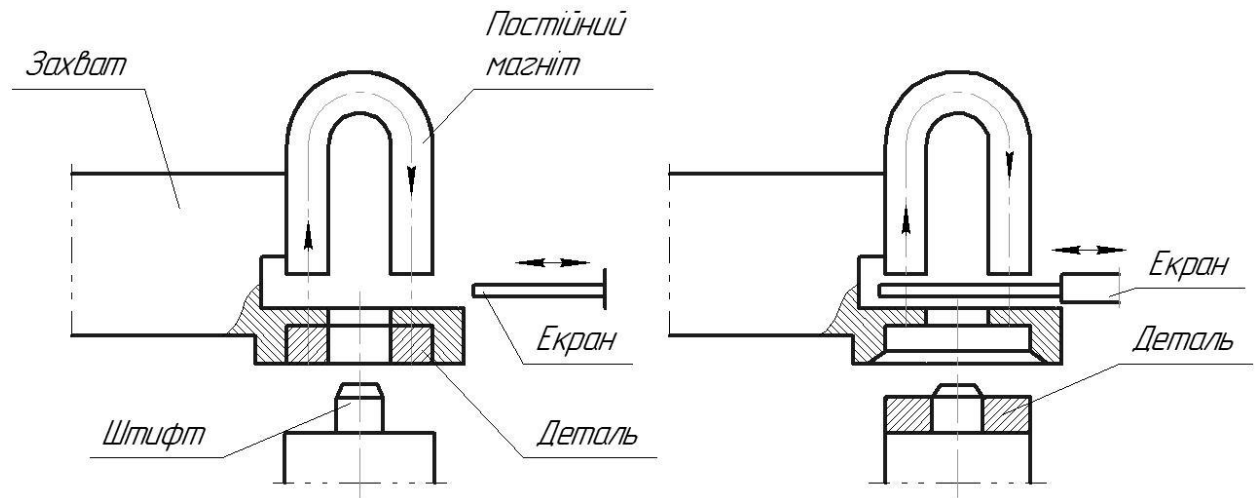
Рис. 1.5 Схеми вакуумних захоплень

«Ежекційний ефект виникає за рахунок падіння статичного тиску в місці звуження повітряного потоку і його прискорення. Завдяки цьому повітря із зони присоски втягується в швидкісний потік і викидається назовні. У порожнині присоски виникає розрідження.» [6]

Магнітні захватні пристрої

У своїй роботі Іванов А.А. пише про те, що «магнітні захватні пристрої в основному використовують для об'єктів які мають складну геометричну форму (ребристі, гранчасті або перфоровані поверхні). Перевагою магнітних захватів є велика сила тяжіння на одиницю площі, швидкість спрацьовування, простота конструкції. До недоліків можна віднести обмежену можливість їх застосування тільки для деталей з феромагнітних матеріалів з великими значеннями магнітної проникності ($\mu = 104 \dots 106$) і наявність залишкового магнетизму на деталях, який викликає необхідність оснащення таких пристроїв спеціальними скидачами на позиції розвантаження деталей. У захватних пристроях з постійними магнітами найпростішим пристосуванням для скидання з захоплення деталі в позиції

розвантаження може служити феромагнітна підкладка (магнітний шунт), за допомогою якої екранується магнітне поле захоплення» [7] (рис. 1.6).



а) екран не підведено
(деталь утримується);

б) екран підведено
(деталь не утримується)

Рис. 1.6 Схеми захватів з постійним магнітом і магнітним екраном

1.2 Приклади промислових зразків захватних пристроїв роботів

FlexShapeGripper.

Захват, утримання та вивантаження об'єктів - захватні пристрої завжди відігравали ключову роль у виробництві. Компанія «FESTO» постійно перебуває в пошуку нових рішень, принципів та інноваційних підходів для виробничих систем. Одним з джерел натхнення для цієї компанії в пошуку нових знань і майбутніх технологій є природа. Ось чому «FESTO» приніс «біонічне навчання мереж» до життя. У співпраці з університетами, інститутами «FESTO» вже вивчили цілий ряд різних механізмів, використовуючи біологію як модель для своїх розробок.

У співпраці з університетами Осло та Акершус використовуючи прикладні науки, «FESTO» розробила захват, принцип роботи якого походить від біологічних особливостей язика хамелеона. «FlexShapeGripper» може підібрати, зібрати і відкинути декілька об'єктів з широким діапазоном форм в одній процедурі - без необхідності проводити відбір в ручну. Це стало можливим завдяки його водоналивній силіконовій ємкості, яка обгортає себе стискаючись навколо предметів приймаючи відповідну форму [8](рис.1.7.).



Рис. 1.7 Захват «FlexShapeGripper» компанії «FESTO»

Затиск об'єкта силіконовою шапкою відбувається завдяки інверсії. Під час процедури захоплення система обробки проводить рукоятку через об'єкт так, щоб він торкався силіконом шапки з поверхнею. Після цього верхню герметичну камеру випускають. Поршень рухається вгору за допомогою пружинної підкладки та наповненого водою силікону, що змінює свою форму під дією сили поршня.. При цьому силіконова шапка обгортається навколо об'єкта, який контактує з силіконовою ємністю, що призводить до їх тісного контакту. Еластичний силікон дозволяє точно адаптуватися до широкого кола різних геометричних форм, а високе статичне тертя матеріалу створює сильну силу підтримки.

Як механізм втримання, так і звільнення спрацьовують пневматично. Для проведення таких процесів додаткової енергії більш як достатньо. Поступовість стиснення повітря спрощує координацію між системою обробки та захвату під час зчеплення. Сила і деформація силіконової частини може бути встановлена дуже точно за допомогою пропорційного клапана. Це дозволяє декільком процесам об'єднатись одночасно в єдину процедуру.

Як лідер інновацій у своєму галузевому сегменті, «FESTO» встановив собі завдання допомогти формувати виробництво майбутнього. А найважливішою частиною цього є спрощення виробничих процесів і розробка нових виробничих систем.

У промисловості вже є цілий ряд різних захватів, і кожен з них був розроблений для особливих завдань. Якщо форма деталі змінюється, то відповідно і затискач повинен бути замінений або переобладнаний, що вимагає великих зусиль. Адаптивні захвати, такі як «FlexShapeGripper» можуть взяти на себе значну роль у цьому відношенні. [9]

RG6 Gripper

Захват RG6 (рис.1.8) – це гнучкий електричний захват спеціально розроблений компанією «On Robot» для роботи з універсальними роботами.

Довгий хід дозволяє захвату впоратись з багатьма типами об'єктів різних розмірів і форм. Регулювання сили затиску дозволяє захвату впоратись з різним типом предметів як легких так і важких. Складність установки захватного пристрою мінімальна кабель з'єднання кріпиться на будь-який універсальний робот. Всі конфігурації захвату контролюються від універсального програмного забезпечення. [10]



Рис. 1.8 Захват «RG6» компанії «On Robot»

Особливості захватного пристрою «RG6»

- Проста установка, працює безпосередньо від робота.
- Інтегрована плата управління, не потребує електропроводки або зовнішнього програмування.
- Гнучкий, дозволяє утримувати об'єкти широкого діапазону розміру.

- Регулювання сили затиску.
- Швидка заміна пальців.
- Безвідмовна робота у випадку втрати енергії, потужність сили захвату підтримується

Зміна положення пальців дозволяє утримувати об'єкти як за зовнішню поверхню так і за внутрішню (рис.1.9) [11]

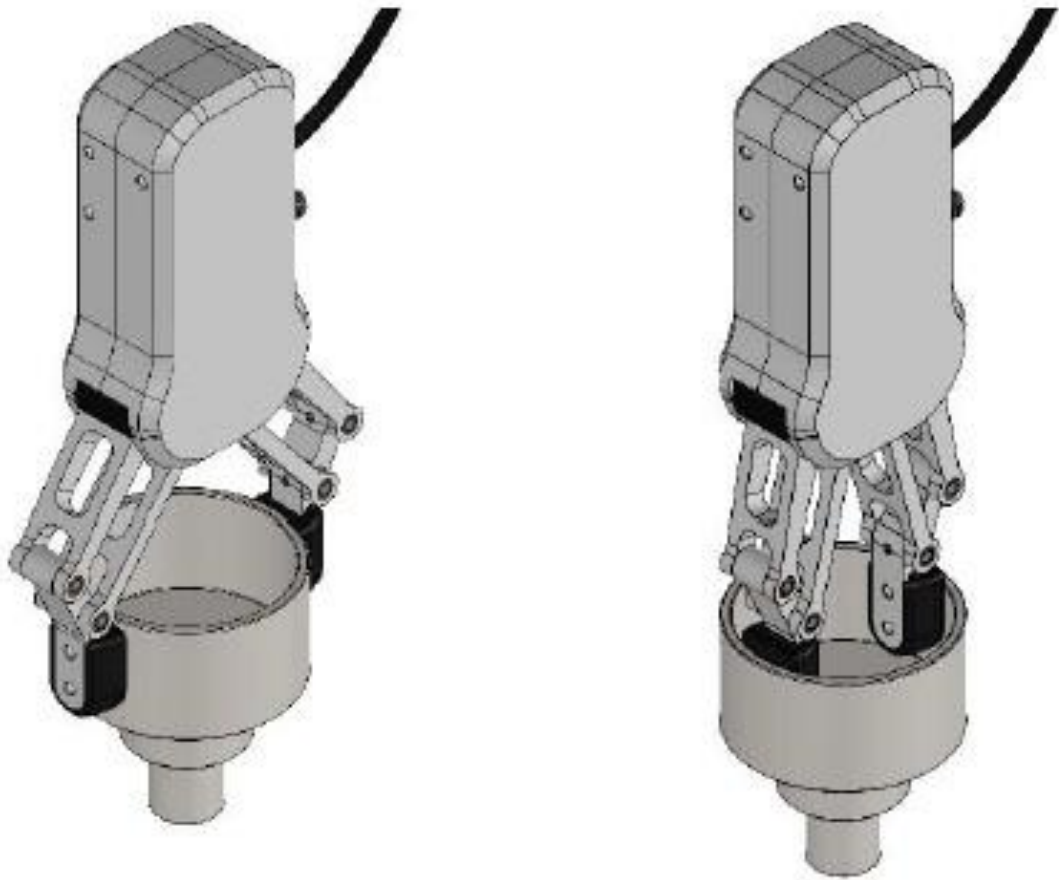


Рис. 1.9. Можливість положень пальців захвату «RG6» компанії «On Robot»

Стандартні пальці можуть бути використані для багатьох різних деталей.

Якщо потрібні користувацькі пальці, їх можна виготовити на замовлення (рис.1.10).

Конструкцією передбачено можливість з'єднання декількох захватів.



Рис. 1.10 Конструкція з двома захватами «RG6» компанії «On Robot»

MultiChoiceGripper

Природа часто забезпечує свіжий поштовх до нових підходів та ідей для промислових застосувань. У співпраці з університетами, інститутами та компаніями «Festo» вже досить довго вивчає цілий ряд різних принципів зчеплення використовуючи біологію. «MultiChoiceGripper» був продуктом тісної співпраці з університетом Лінца в рамках дипломної роботи. Захват повторює захоплення натхненне людською рукою з використанням великого пальця, завдяки якому люди здатні захоплювати велику різноманітність об'єктів різних форм та розмірів швидко і легко.

Як і природа руки, MultiChoiceGripper об'єднує унікальну комбінацію різних типів зчеплення. Тому його пальці можуть змінювати положення так, щоб рухатись паралельно або орієнтовно об'єкта.

Завдяки адаптивним пальцям із структурою «Fin Ray®» «MultiChoiceGripper» може змінювати положення пальців відповідно різних напрямків руху, і як самі пальці людини може пристосуватися до різних

форм.

Таким чином, «MultiChoiceGripper» може захватувати різні форми, не кажучи вже про дуже чутливі об'єкти без додаткового датчика або технології управління.

Природа зазвичай зосереджує увагу на декількох принципах роботи для утримання об'єкта. Комбінації різних сил та пристосування до форми надійно фіксують об'єкт. Тримання об'єктів відбувається за допомогою сил, що діють на певну точку або область – це фрикційні, вакуумні, негативні тиски, або магнітні та електростатичні сили.

«MultiChoiceGripper» використовує як силу, так і пристосування до форми використовуючи захоплюючі пальці, які є адаптивними. «MultiChoiceGripper» може змінюватися положення пальців паралельно так і переміщувати їх до центру. Третій палець який є протилежний двом іншим, як великий палець людини, має змогу повертається на 130° по відношенню до інших пальців. [12]

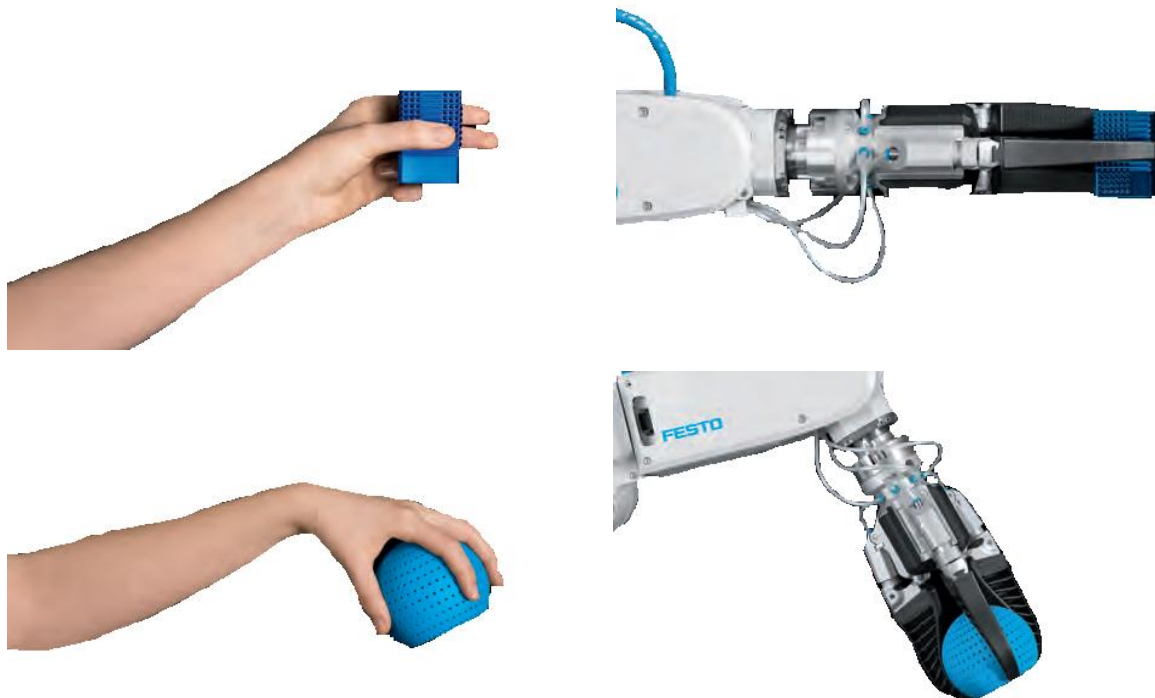


Рис. 1.11 Захват «MultiChoiceGripper» компанії «FESTO»

За допомогою кінематичної техніки виконується просте перенаправлення зміни напрямку руху. Натяжна стріла переносить сили на тримачі, розташовані на двох елементах пальця, які в свою чергу можуть обертатися. Ці тримачі відповідно змінюють положення пальця: в першому положенні всі пальці спрямовані до центральної точки, в другому положенні два пальця розташовані поруч один з одним доки третій палець займає положення протилежного великого пальця. За допомогою механічної фіксуючої системи, елементи пальців фіксуються у відповідній кінцевій позиції.

«MultiChoiceGripper» приєднується до робота. З руки робота, до якої приєднується захват під'єднуються три повітряних лінії. Вони забезпечують постачання стиснутого повітря, необхідного для зміни положень пальців та фіксації об'єктів.

У пальці вбудовані циліндри, які використовуються для зміни напрямку руху і зафіксувати елементів пальця. Кожен елемент також має вбудовану пневматику – мікроциліндр, який рухає пальцеві суглоби. Кожен елемент пальця має власну систему приводу і може працювати самостійно, використовуючи стиснене повітря.

Кількість елементів пальців на захваті може бути різною – від двох до шести. Завдяки Т-образній формі канавки утримувача вони є легко змінними. [13]

1.3 Традиційні методи розрахунку зусиль затиску

Зусилля затиску. На кожний робочий елемент затискного пристрою в загальному випадку діють дві повні нормальні сили й сили тертя (рис. 1.12), які спрямовані протилежно зусиллям, що діють на об'єкт.

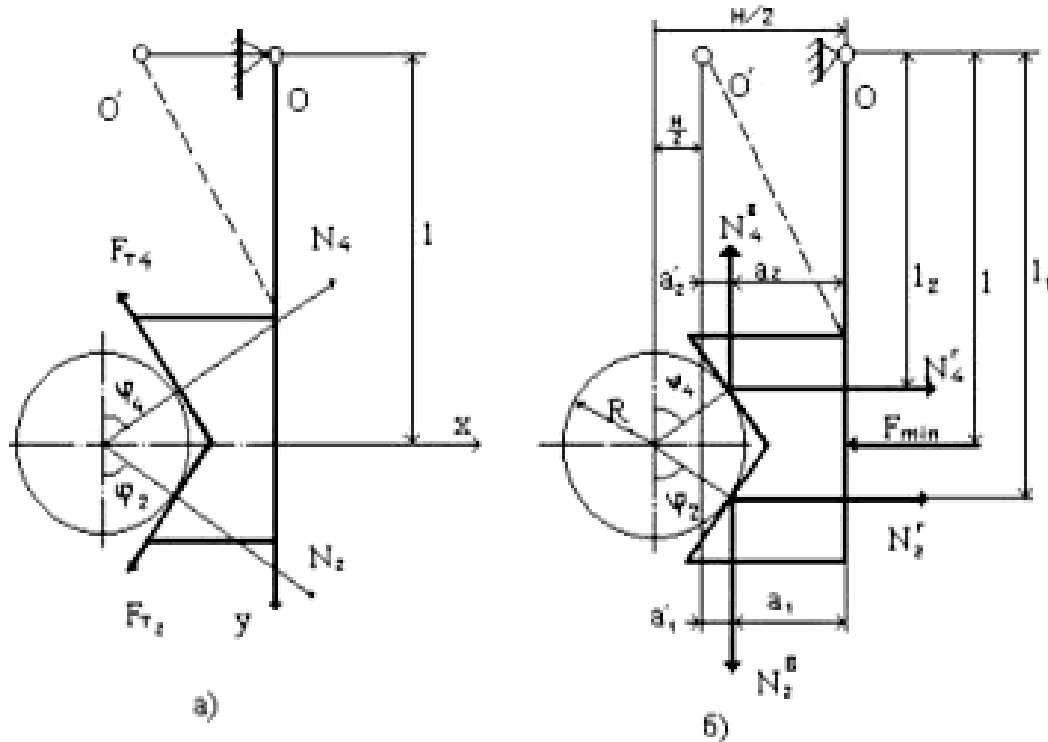


Рис. 1.12 Розрахункова схема визначення зусиль затиску

Створивши проекцію цих сил на напрямок, перпендикулярний до умовної прямолінійної поверхні робочого елемента (на вісь x) і паралельне цієї поверхні (на вісь y), одержимо чотири сили, що діють на робочий елемент затискного пристрою (рис. 1.12, б):

$$N_{Г2} = N_2 \sin \varphi_2 - F_{T2} \cos \varphi_2;$$

$$N_{Г4} = N_4 \sin \varphi_4 - F_{T4} \cos \varphi_4;$$

$$N_{B2} = N_2 \cos \varphi_2 + F_{T2} \sin \varphi_2;$$

$$N_{B4} = N_4 \cos \varphi_4 - F_{T4} \sin \varphi_4.$$

Ці сили викликають поворот робочого елемента відносно точки O – що є центром його обертання. Для зрівноважування робочого елемента

прикладемо в його середині зусилля затиску F_{\min} (рис. 1.12, б) перпендикулярно до умовної прямолінійної поверхні на відстані l від точки обертання. Запишемо рівняння моментів щодо крапки О:

$$N_{Г2} l_1 + N_{Г4} l_2 + N_{B2} a_1 + N_{B4} a_2 = F_{\min} l.$$

Звідки знайдемо силу затиску, яку необхідно прикласти для зрівноважування робочого елемента:

$$F_{\min} = \frac{N_2^G l_1 + N_4^G l_2 \pm N_2^B a_1 \mp N_4^B a_2}{l}$$

де l_1 і l_2 – плече дії сили N_2^G і N_4^G відповідно; $l_1 = R \cos \varphi_2$; $l_2 = l \pm R \cos \varphi_4$; знак плюс ставлять, якщо момент від вертикальної сили розкриває робочі елементи, знак мінус – якщо закриває; a_1 і a_2 – плече дії сили N_2^B і N_4^B відповідно;

$$a_1 = \begin{cases} \frac{\frac{H}{2} - R \sin \varphi_2}{R \sin \varphi_2 - \frac{H}{2}} \\ \frac{R \sin \varphi_2 - \frac{H}{2}}{\frac{H}{2} - R \sin \varphi_2} \end{cases}$$

$$a_2 = \begin{cases} \frac{R \sin \varphi_4 - \frac{H}{2}}{\frac{H}{2} - R \sin \varphi_4} \\ \frac{\frac{H}{2} - R \sin \varphi_4}{R \sin \varphi_4 - \frac{H}{2}} \end{cases}$$

де R – радіус об'єкта; H – відстань між осями обертання робочих елементів.

Отже, у загальному випадку при різному розташуванні осі обертання О або О' робочого елемента можна записати:

$$F_{\min} = \frac{N_2^G (l + R \cos \varphi_2) + N_4^G (l - R \cos \varphi_4) + N_2^B \left(\frac{H}{2} - R \sin \varphi_2 \right) + N_4^B \left(R \sin \varphi_4 - \frac{H}{2} \right)}{l}$$

Сила F_{\min} є мінімально необхідною, яка потрібна для втримування об'єкта. Для надійного закріплення об'єкта в робочих елементах необхідно прикласти зусилля захоплювання F більше мінімального F_{\min} , тобто

$$F = n F_{\min},$$

де n – коефіцієнт запасу рівний 1,5...2,0.

Дія нормальних сил N_i і сил тертя F_{Ti} на робочий елемент можна умовно замінити однією еквівалентною силою N_{\min} , яку потрібно прикласти в

його центрі, перпендикулярно умовній поверхні. Тоді вона утворить той же момент відносно точки О обертання, що й прикладені сили. Величина цієї сили $N_{\min} = F_{\min}$ або з урахуванням коефіцієнта запасу $N = F$.

Зусилля привода (сила $F_{\text{вх}}$ або момент $T_{\text{вх}}$) захвату визначають із умови рівності елементарних робіт, які виконує привод (вхідною ланкою передавального механізму захвата) і робочими елементами, тобто

$$A_{\text{д}} = \frac{A_{\text{с}}}{\eta}$$

Звідки зусилля привода:

$$M_{\text{вх}} = \frac{KM_{\text{вых}}dL_{\text{вых}}}{dL_{\text{вх}}\eta} = \frac{KM_{\text{вых}}\Omega_{\text{вых}}}{\Omega_{\text{вх}}\eta} = \frac{KM_{\text{вых}}}{i\eta},$$

де $A_{\text{д}}$ – робота, яку виконує привод (робота рушійних сил);

$A_{\text{с}}$ – робота, яку виконують робочі елементи (робота сил опору);

$dL_{\text{вх}}$ – елементарне переміщення (лінійне dh або кутове $d\varphi$) вихідної ланки (робочого елемента);

$\Omega_{\text{вх}}$ – швидкість (лінійна або кутова) вхідної ланки;

$\Omega_{\text{вых}}$ – швидкість (лінійна або кутова) вихідної ланки;

K – число робочих елементів;

$M_{\text{вых}}$ – еквівалентний силовий фактор (сила N або момент T) на вихідній ланці (робочому елементі);

$M_{\text{вх}}$ – силовий фактор (сила $F_{\text{пр}}$ або момент $T_{\text{ин}}$) на вхідній ланці;

η - коефіцієнт корисної дії передавального механізму, рівний 0,85...0,95.

При перетворенні поступального руху привода в поступальний рух робочих елементів зусилля привода визначають по формулі:

$$F_{\text{пр}} = KN \frac{dh}{d\eta} = KN \frac{v_{\text{вых}}}{v_{\text{вх}}\eta} = KN \frac{1}{i\eta}.$$

За табл. 1.1 для наведених схем передавальних механізмів можна розрахувати зусилля привода $F_{\text{пр}}$ через момент утримання губки захвату

Таблиця 1.1

Залежності для розрахунку зусиль приводу для основних типів захватних пристроїв

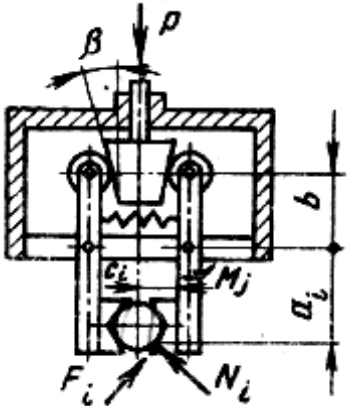
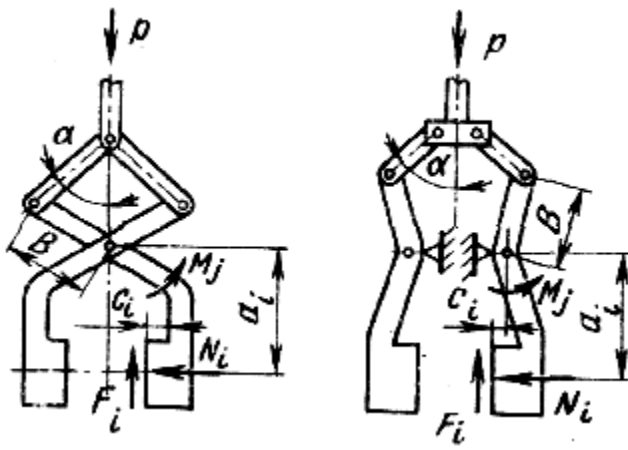
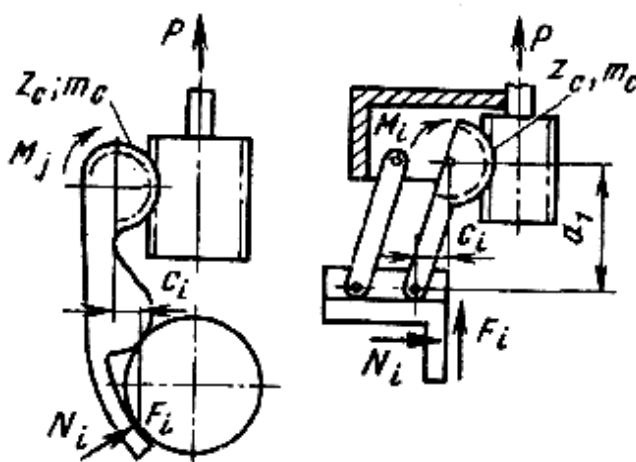
Схема	Формула для визначення сил Р (Н)
<p>Клиновий механізм</p> 	<p>Загальний випадок</p> $P \geq \frac{\sum_{j=1}^m M_j \cdot \operatorname{tg}(\beta + \rho)}{b \cdot \eta_p};$ <p>для симетричних губок</p> $P \geq \frac{2 \cdot M_j \cdot \operatorname{tg}(\beta + \rho)}{b \cdot \eta_p};$ $m = 2; \eta_p = 0.9; \beta = 4 \dots 8^\circ;$ <p>$\rho = 1^\circ 10'$ – при осях на підшипниках ковзання; $\rho = 3^\circ$ – при осях на підшипниках кочення;</p>
<p>Важільний механізм</p> 	<p>Загальний випадок</p> $P \geq \frac{\sum_{j=1}^m M_j \cdot \cos(\alpha)}{b \cdot \eta_p};$ <p>для симетричних губок</p> $P \geq \frac{2 \cdot M_j \cdot \cos(\alpha)}{b \cdot \eta_p};$ $\eta_p = 0.9 \dots 0.95$

Схема	Формула для визначення сил Р (Н)
<p>Рейковий механізм</p> 	<p>Загальний випадок</p> $P \geq \frac{2 \cdot \sum_{j=1}^m M_j}{m_z \cdot z_c \cdot \eta_p};$ <p>для симетричних губок</p> $P \geq \frac{4 \cdot M_j}{m_z \cdot z_c \cdot \eta_p};$ $\eta_p = 0.94$
<p>Позначення. m – число губок захвату;</p> <p>M_j – утримуючий момент (Н м) для j-ї губки,</p> $M_j = \sum_{i=1}^k N_i \cos \varphi_i [a_i \operatorname{tg} \varphi_i \pm c_i - \mu(a_i \pm c_i \operatorname{tg} \varphi_i)];$ <p>N_i – сила контакту, яка визначається вище, Н;</p> <p>a_i, c_i – відстань від точки повороту губки до i-ї точки контакту, м;</p> <p>φ_i – кут контакту°;</p> <p>μ – коефіцієнт тертя між губкою і заготовкою, $\mu = 0,14$;</p> <p>η_p – коефіцієнт корисної дії механізму;</p> <p>z_c – модуль сектора, м;</p> <p>z_c – повна кількість зубців сектора.</p>	

Компонування пневматичних схватів є більш простим, тому що відсутні складні перетворювачі руху. Вибір пневмоциліндра здійснюють по зусиллю на його штоку:

$$F_{\Pi} = \frac{KN}{i\eta}$$

Хід циліндра знаходять із умови: $h = \delta/i$. Швидкість поршня: $v_{\Pi} = v_i$.

Динамічні зусилля виникають у момент захоплювання робочими елементами об'єкта (рис. 1.). Вони можуть значно перевищувати статичні зусилля й приводити до ушкодження поверхні об'єкта, його деформуванню й руйнуванню

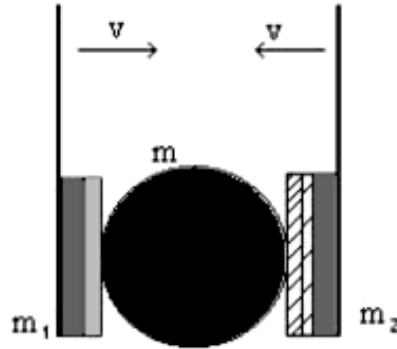


Рис. 1.13 Схема захвата об'єкта плоскими губками

На рис. 1.13 зображено процес затиску об'єкта масою m пружними робочими елементами, маса m_1 кожного дорівнює половині приведеної до робочих елементів маси $m_{пр}$ механізму захвата, тобто $m_1 = 0,5m_{пр}$.

Динамічну силу N_d у момент затиску можна визначити по формулі:

$$N_d = C\Delta = \frac{v^2 m_1}{\Delta} = \frac{\delta^2 m_1}{t^2 \Delta},$$

де C - еквівалентна твердість об'єкта й робочих елементів:

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2},$$

де C_1 – твердість накладок робочого елемента;

C_2 – твердість об'єкта;

Δ - спільна деформація об'єкта й робочого елемента;

v - швидкість робочого елемента в момент торкання;

δ - хід робочого елемента;

t - час переміщення робочого елемента.

Якщо об'єкт який затискається спочатку розташований на різних відстанях від робочих елементів, то затиску передуює удар одного з робочих елементів.

1.4 Результати патентного пошуку

Заявка Японії №3226219В2 [20].

Для поліпшення зручності обробки такого предмета, як м'яка або крихка річ або річ, що має багато вигнутих поверхонь, надаючи анізотропну та пружну характеристику багато чисельним зовнішнім периферійним стінкам завдяки великій кількості виконавчих органів, закріплених в загальному корпусі.

Оскільки зовнішні периферійні стінки виконавчих органів 3, 5, 7 та 9 (рис.1.14) мають анізотропну та пружну характеристику, при натисканні на тискові камери (301-303), (501-503), (701-703) та (901 -903), виконавчі тіла 3, 5, 7 і 9 деформуються еластично, і таким чином, виконуються пружні деформації в осьовому напрямку та вигнуті деформації у довільному напрямку. Таким чином, керуючи великою кількістю керуючих органів 3, 5, 7 і 9 координувати, може бути виконана успішне закріплення або операція маніпулювання об'єктом.

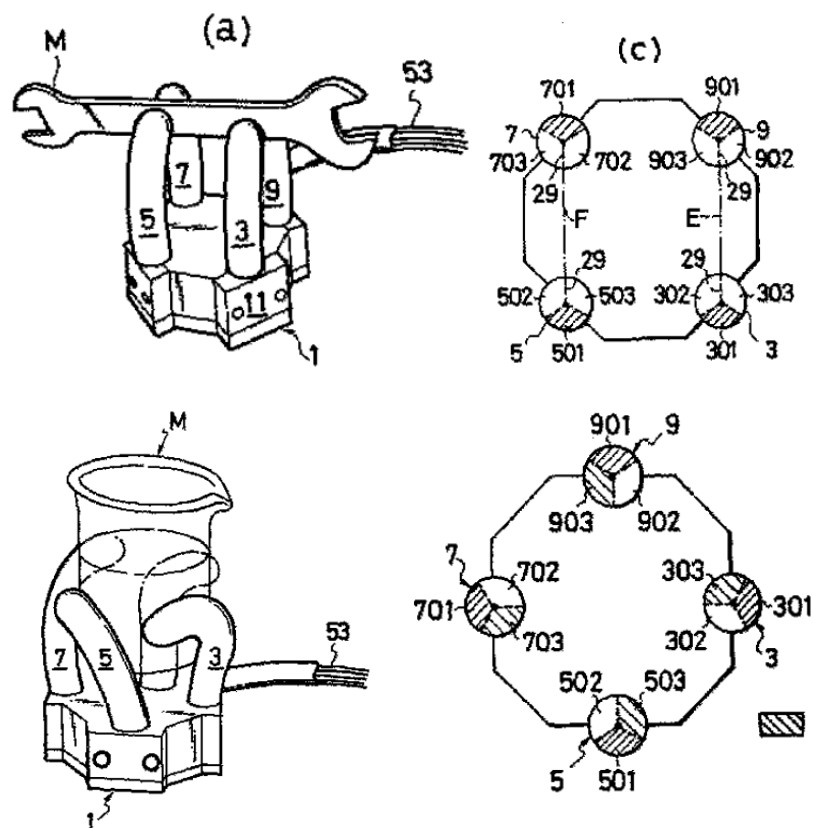


Рис. 1.14 Заявка Японії №3226219В2

Заявка Японії №08300285А [21].

Забезпечити ручні пальці робота, здатні міцно утримувати об'єкт та створювати надійну силу затиску в простій структурі. Порожнє тіло 1 утворене трубчастим м'яким матеріалом (рис.1.15), де відкрита кінцева частина і закритий плаваючий кінець, а проміжна периферійна частина у поздовжньому напрямку цього пальцевого тіла 1 утворюється у вигляді сильфона. Відкриваюча частина 1а цього порожнистого тіла 1 з'єднана з частиною 3 подачі рідини і в такому стані, що основний кінець тіла 1 для формування пальців підтримується опорним елементом 2, розмір кожної складки сильфона 18 встановлено так, що при деформації воно стає задньою частиною тіла 1, що формує палець, таким чином, щоб цей палець, згорнувся в бік осі захвату за рахунок тиску в рідині 3, поданої через отвірну частину 1а.

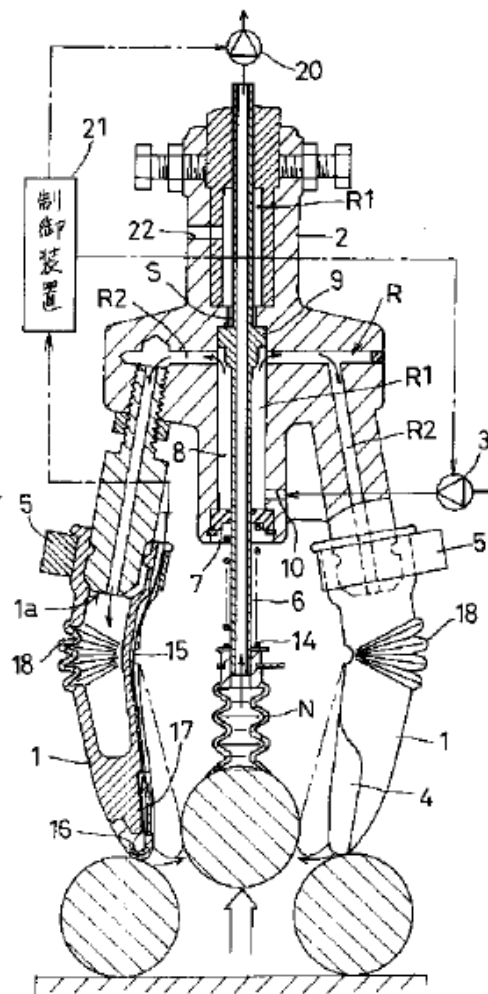


Рис. 1.15 Заявка Японії №08300285А.

Заявка Японії №534965А [22]

Щоб забезпечити належне утримання об'єктів різної форми; пристрій, містить декілька ланок (рис. 1.16) , які шарнірно з'єднані одна з одною через пружні вставки та обертаються виконавчими механізмами, і кожна рука вертикально зміщена по відношенню до пружної вставки.

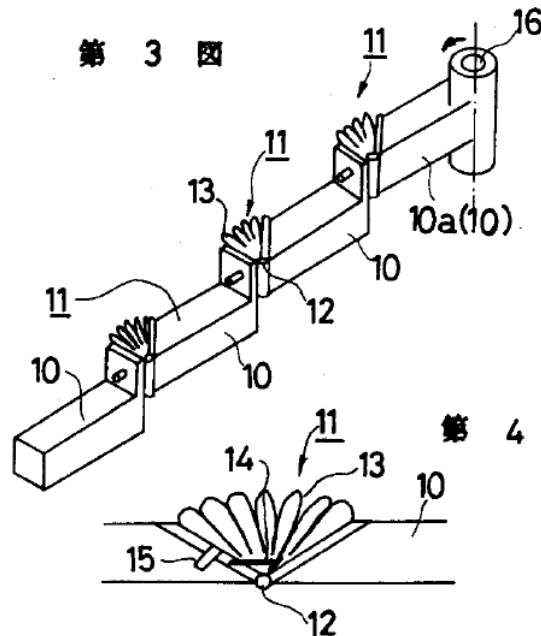


Рис. 1.16 Заявка Японії №534965А

Патент США №3343864А [23]

Пристрій для затискання об'єктів та інструментів (рис. 1.17) за рахунок деформації пружних елементів під дією стисненого повітря яке нагнітається в порожнину пружного елемента. Напрямок деформації забезпечується формою пружного елемента.

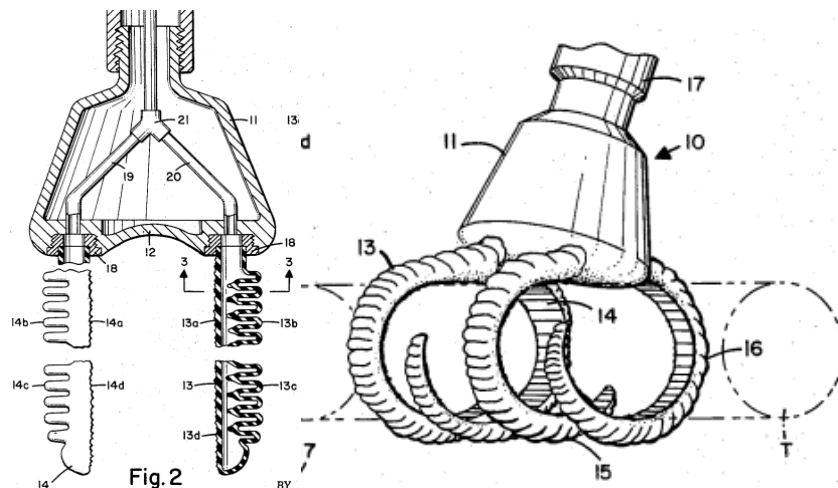


Рис. 1.17 Патент США №3343864А

Даний винахід стосується пристрою маніпулювання, що працює під тиском, і забезпечує рух через обмежені відстані та надає сили, необхідні для затиску та утримання виробів.

Пристрій в формі деякої кількості витягнутих гнучких пружних трубок (рис. 1.18), кожна з яких закрита на одному кінці, причому незакритий кінець приєднаний до спільного жорсткого колектора тиску з камерою в кожній трубці, яка зв'язується з прохідною рідиною в колекторі.

Кожна з труб зазвичай розтягується лінійно з поздовжньо рівномірним поперечним перерізом у невисокому ступені, але після впровадження рідини під тиском кожна труба набуває дугова конфігурація навколо осі, по суті, під прямим кутом до її довжини.

"Керлінг" до дугової конфігурації є результатом роботи кожної з трубок, що мають частину своєї поперечної периферії, витягнуті, по суті, нерозривно у поздовжньому напрямку, а решта периферії розташовується поздовжньо, але не розтягується по окружності. Це стало можливим завдяки формуванню трубки еластичного матеріалу з, по суті, неперервними натяжними шнурами, закріпленими в стінці трубки, та з шнурами, розташованими вздовж трубки, в області, яка не перевищує половини поперечного перерізу трубки. Кожна з трубок також має неперервні натяжні шнури, направлені радіально всередину поздовжніх шнурів, що простягаються під прямим кутом до довжини трубки, щоб запобігти поперечному розширенню стінки трубки.

Таким чином, шар поздовжніх натяжних шнурів уздовж однієї сторони кожної трубки стримує трубку так, що при герметизації кожна з трубок змінюється від лінійної конфігурації до вигнутого або криволінійного стану з боку кожної трубки, що має натяжні шнури утворюючи радіально внутрішню поверхню кривизни.

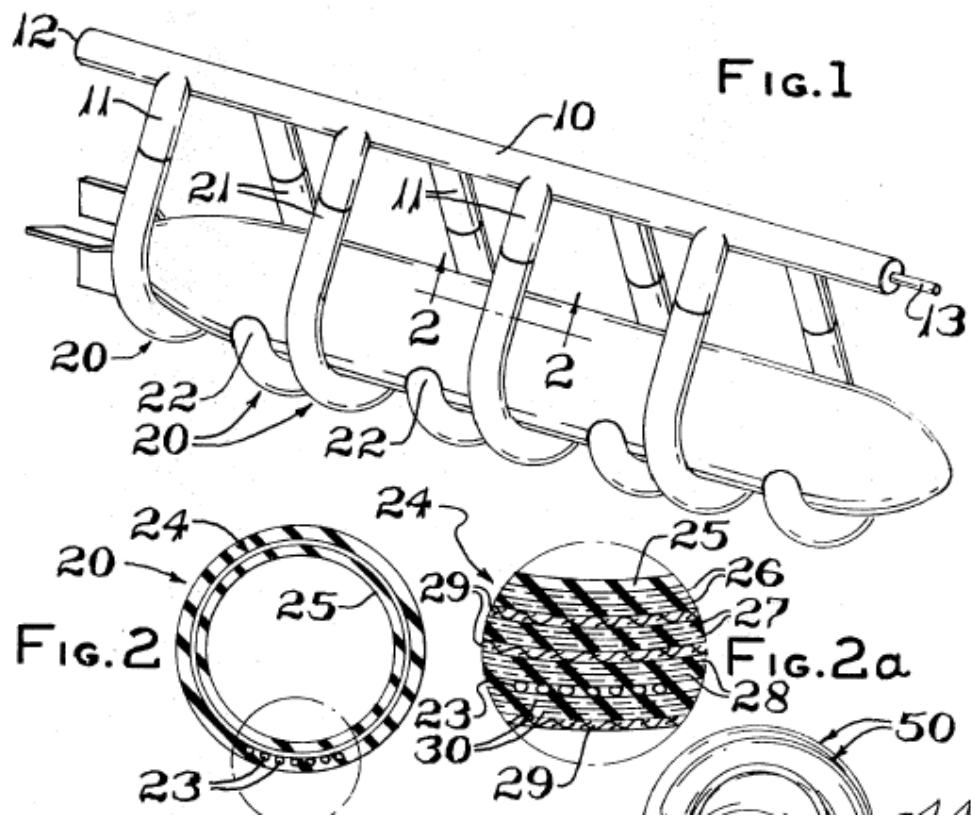


Рис. 1.18 Патент США №3601442А

Патент США №3640564А [25]

Привід, що містить гнучку еластичну трубку (рис. 1.19), яка завивається, коли один кінець закривається, а інший кінець з'єднаний з джерелом тиску рідини і має одноплановий гнучкий елемент, що входить у отвір трубки і розташований таким чином, що дозволяє згинати трубку тільки в одній площині.

Труба переважно має витягнутий поздовжній елемент нерозривного матеріалу, вбудований у стінку трубки, таким чином, щоб поперечно просуватися менш ніж на половину периферії трубки, і щоб плоска керлінг включала гнучкий елемент і натягувальний елемент.

Один з варіантів здійснення включає в себе безліч таких трубок, з'єднаних з загальним колектором таким чином, що кожна трубка завивається навколо свого відповідного натягнення у напрямку центральної області для захоплення об'єкта.

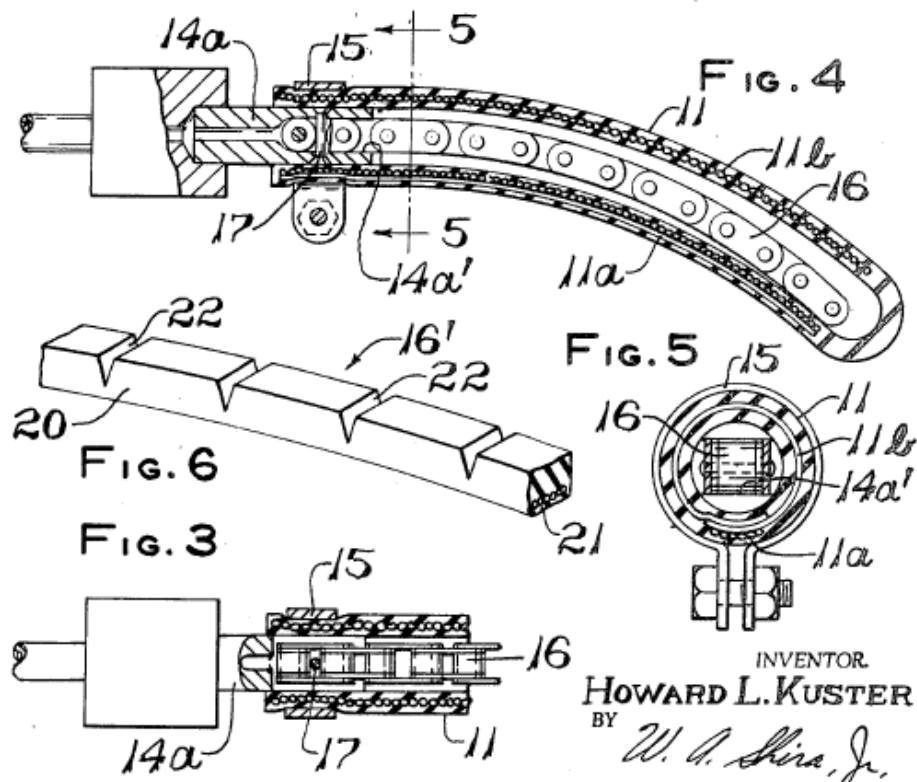


Рис 1.19 Патент США №3640564А

Патент США №3924519А [26]

Винахід має форму подовженої гнучкої трубки (рис. 1.20), яка має заздалегідь довгий отвір, закритий на одному кінці, трубка легко і вільно згинається у природному або лінійному стані, але припускаючи, що арочна конструкція навколо осі, по суті, знаходиться під прямим кутом до її довжини при введенні в отвір рідини під тиском. Ця дія є результатом того, що трубка має частину своєї поперечної периферії меншої довжини розтягування, ніж решта периферії. У такому варіанті виконання це стало можливим, внаслідок того що еластичний матеріал трубки армований нерозривними подовжувальними протяжними шнурами, розташованими в частині, яка не перевищує половини поперечної периферії трубки. Труба також має армуючі неперервні шнури направлені радіально всередину поздовжніх шнурів і розташовані під прямим кутом до осі трубки. Шар поздовжніх армуючих шнурів уздовж однієї сторони утримує пристрій таким

чином, що при подачі тиску всередину трубки вона згинається, при цьому сторона має натяжні шнури, що утворюють радіально внутрішню поверхню кривизни.

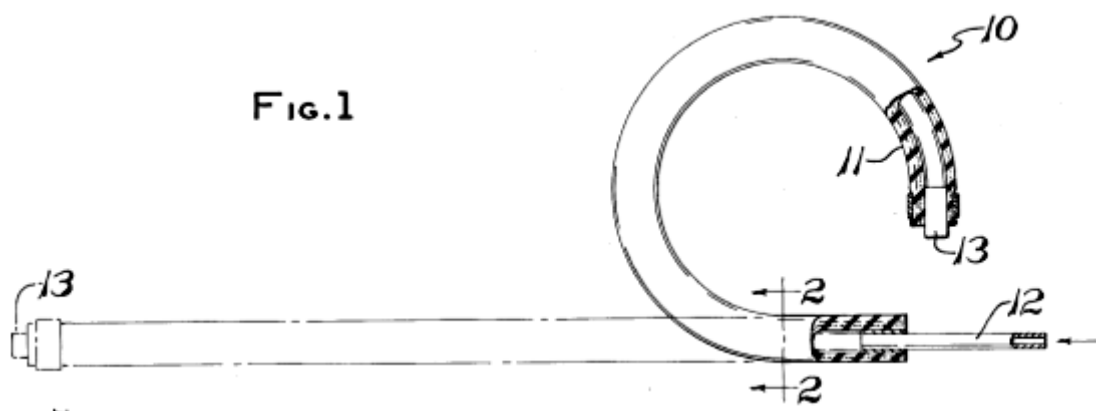


Рис. 1.20 Патент США №3924519А

Патент США №4815782А [27]

Пристрій (рис.1.21) містить робочий елемент, утворений з закритої, надувної трубки (5), яка має декілька, паралельних поздовжньо розташованих смуг (15), призначених для обмеження радіального розтягнення робочого елемента при роздуванні. Продовжена нееластична, збоку гнучка смужка (20), розташована на поверхні елемента, призводить до того, що він, загинаючись, обертається навколо об'єкта, який буде захоплений. Ступінь згинання ручки визначає величину сили захвату та геометрію пристрою.

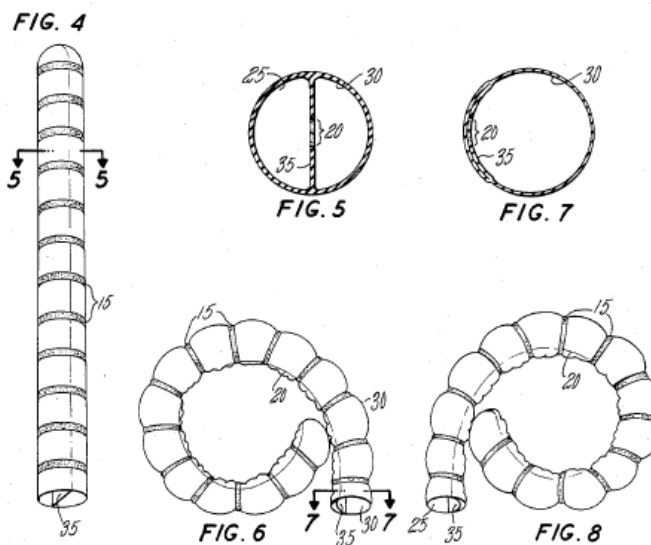


Рис. 1.21 Патент США №4815782А

Патент США №4944755A [28]

Винахід надає рухоме з'єднання (рис.1.22), яке має пару елементів, які є рухомими один відносно одного. Потужність для з'єднання забезпечується надувним шлангом, в який нагнітається стиснене повітря для створення зусилля через його розширення. Шланг прикріплюється ремінцем або іншими елементами, що з'єднують ланки. Моторизоване суглобне покриття може бути покрите штучною м'якоттю, яка, разом з розширенням надувного шлангу, створює реалістичний вигляд згинання м'язів.

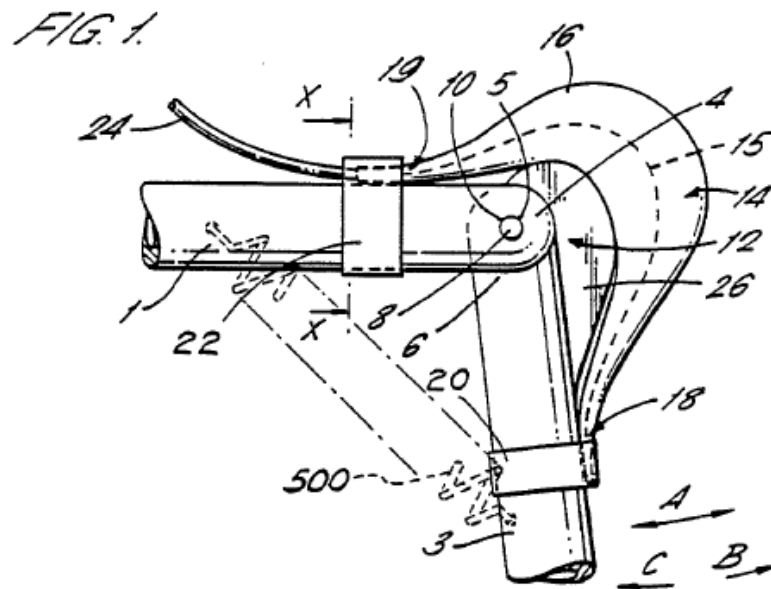


Рис. 1.22 Патент США №4944755A

Патент США №5083498A [29]

Гнучкий привід (рис. 1.23) включає в себе трубчастий корпус, виконаний з еластичного матеріалу, армована обплетення, що оточує трубчастий корпус, і закриваючі елементи, що закривають, як відкриті кінці трубчастого корпусу, так і структуру армованої плетені відповідно. Принаймні один запірний елемент формується з з'єднувальним отвором, що зв'язується з внутрішнім простір трубчастого тіла. Зберігальний пристрій забезпечується, принаймні, частково між запірними елементами, щоб частково стримувати подовження виконавчого механізму в осьовому

напрямку. Коли трубчасте тіло постачається з рідиною під тиском, привід розширюється в осьовому напрямку, одночасно згинаючись.

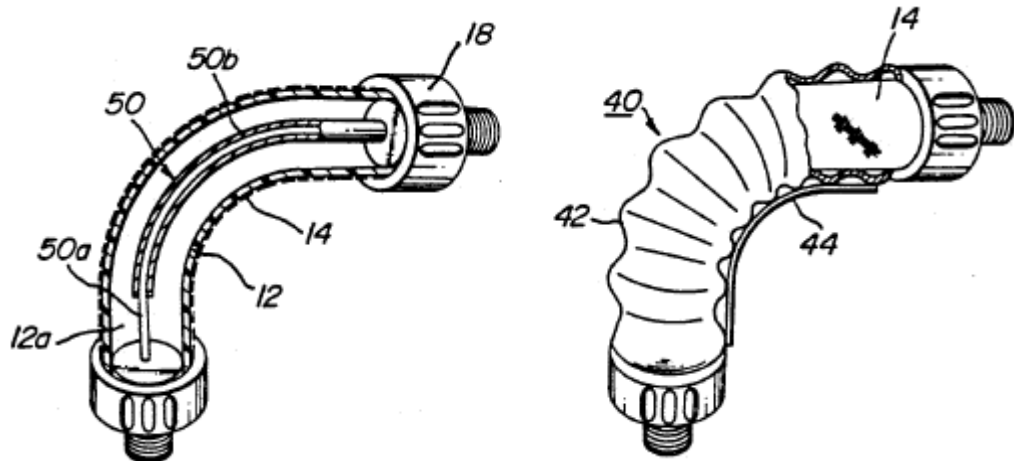


Рис. 1.23 Патент США №5083498А

Патент США №2002157388А1 [30]

Пара гнучких приводів (4) згідно з даним винаходом (рис. 1.24) підтримується пристосуванням (2), виготовленим з твердої гуми на основних кінцях гнучких приводів (4). Кожний гнучкий привід (4) містить рухливий пристрій (6), який здатний згинати, блок насоса (8), який цілком з'єднаний з рухомим пристроєм (6) на його кінці, для управління передачею робочої рідини, запечатаної в рухомому пристрої, і двигун насоса (10) для керування приводом насосного агрегату (8).

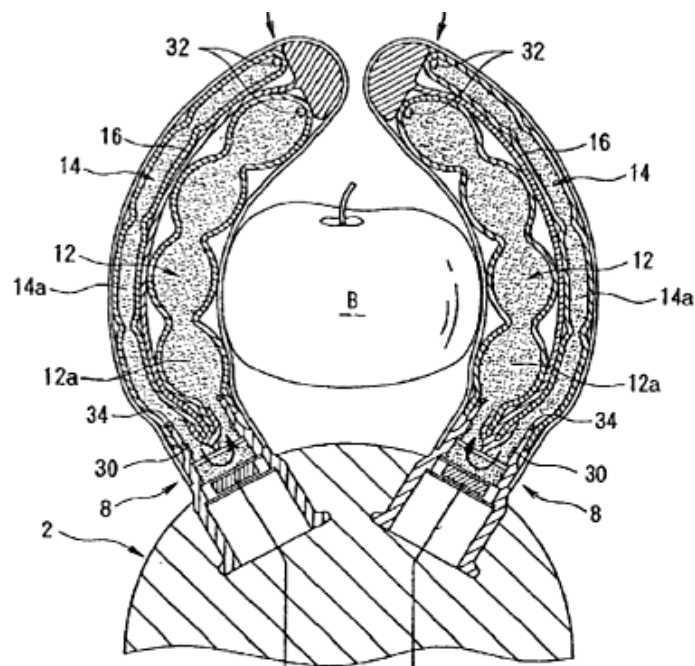


Рис. 1.24 Патент США №2002157388А1

Рухлива частина (6) включає в себе дві довгі та вузькі трубки (12) і (14), кожна з яких має гармонічну стінку, сердечник (16), що підтримує труби паралельно один одному, і кришку (18), що покриває трубки (12) та (14). Труба (12), яка контактує з предметом (В), виготовлена з м'якого матеріалу.; Рухливий пристрій (6), забезпечений трубкою (12), м'яко входить в контакт з об'єктом в декількох частинах дії плоского контакту рухомого блоку (6), тим самим утримуючи предмет, не подряпаючи той самий.

Патент США №2006028041A1 [31]

Механізм керування багатокомпонентної частини багат шарового типу (рис. 1.25) включає в себе базовий елемент, що має принаймні дві частини пружної деформації, пневматичний елемент труби багат шарового типу, що має щонайменше дві лінії труб, які укладаються на базовий елемент і з'єднані з пневматичним джерелом живлення та елемент деформації шарнірного типу, який укладають на пневматичну трубку багат шарового типу і які розміщені в з'єднувальних частинах відповідно до ділянок деформації, і які з'єднані з трубами, в яких пневматичному тиску подається в пневматичну камеру, частина суглобів, зв'язаних з пневматичною камерою, до якої подається пневматичний тиск, деформується.

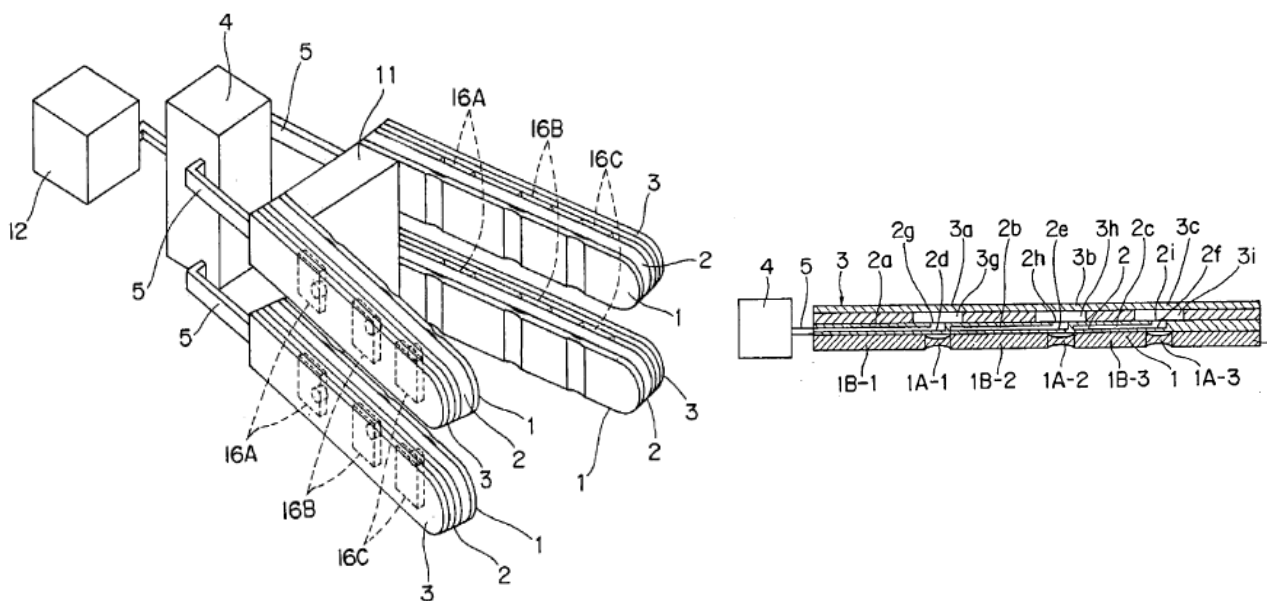


Рис. 1.25 Патент США №2006028041A1

Патент США №2014109560A1 [32]

Пристрій мобільного робота (рис. 1.26) включає в себе гнучке тіло, яке має ширину, довжину і товщину, причому товщина становить щонайменше 1 мм, гнучке тіло, що має щонайменше один канал, розташоване в гнучкому корпусі, канал, визначений верхньою, нижньою та бічною стіни, де, принаймні, одна стіна деформується, впускний отвір під тиском, що зв'язує рідину з, принаймні, одним каналом, щонайменше один канал розташований і розташований таким чином, що стіна, протилежна обмежувальній стінці стінки, , коли стиснене повітря нагнітається в робочу порожнину пристроя через впускний отвір.

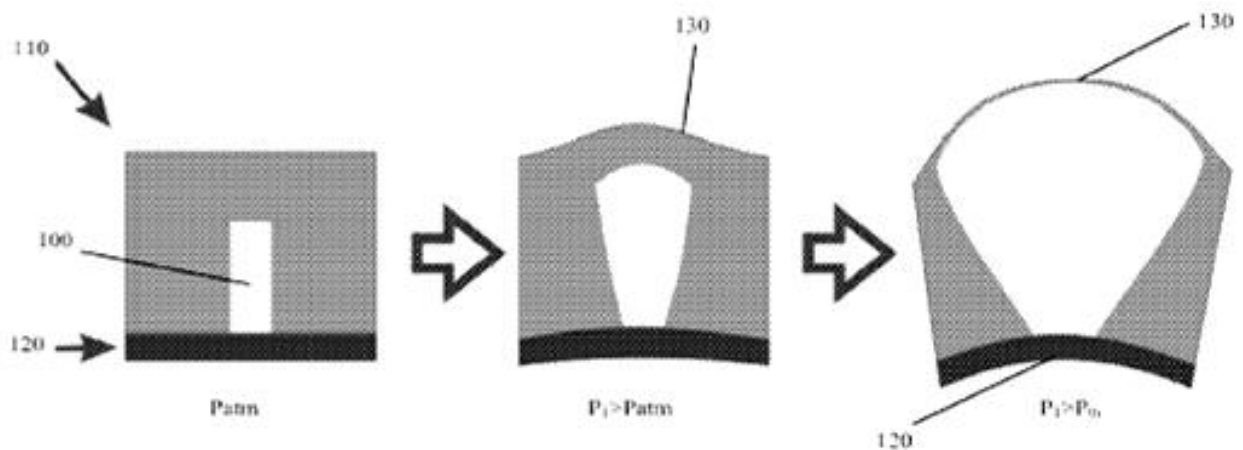


Рис. 1.26 Патент США №2014109560A1

Патент ВОІВ №2015191585A1 [33]

Представлено пружний механічний привід (рис. 1.27). Привід включає в себе першу частину з постійним профілем і другу частину з регулярно змінним профілем і згинається залежно від тиску, якщо внутрішній тиск всередині виконавчого механізму збільшується або зменшується. Даний винахід стосується потреб, описаних вище, шляхом забезпечення виконавчими елементами, які налаштовані на виконання нових фундаментальних рухів шляхом включення елементів дизайну, які можуть бути налаштовані шляхом маніпулювання відносно коротким списком параметрів для здійснення спеціальних змін, які можуть викликати тиск. бути розроблені, використовуючи кількісні методи моделювання.

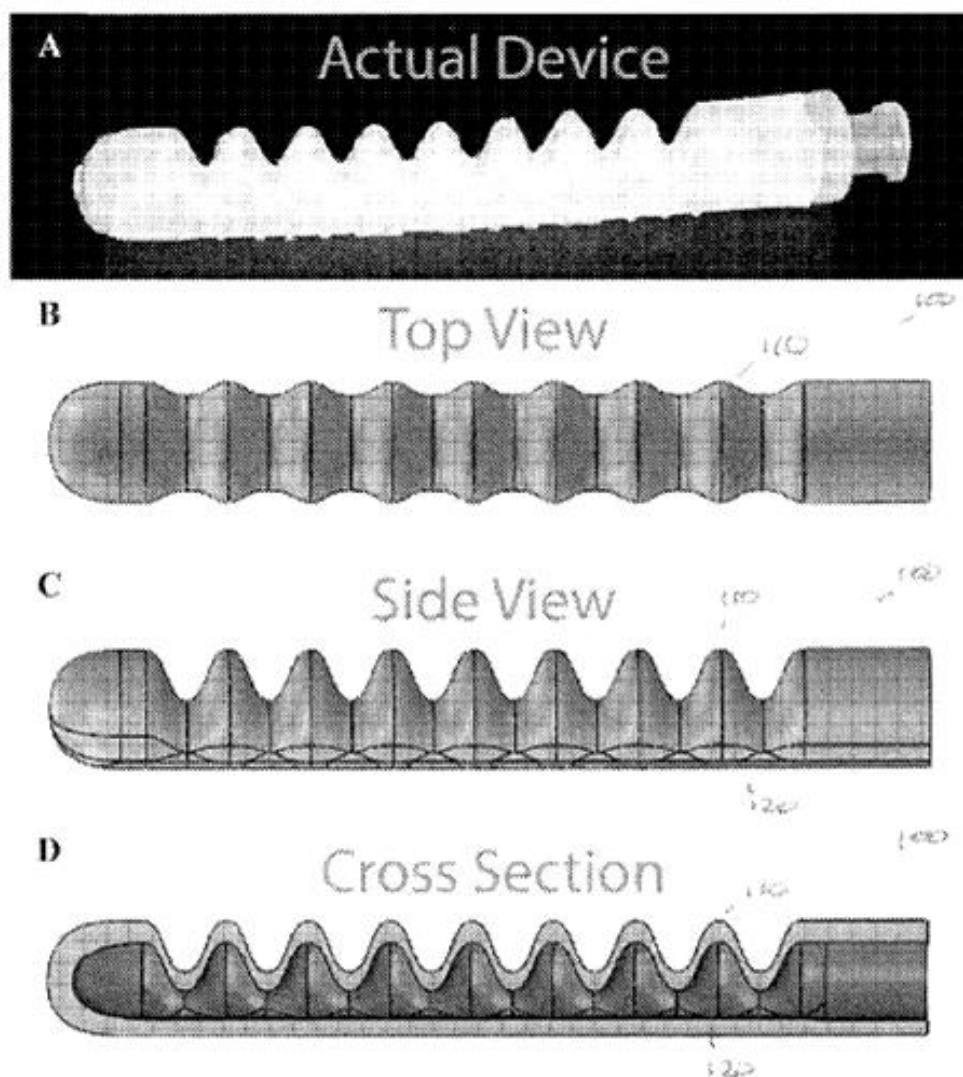


Рис. 1.27 Патент ВОІВ №2015191585А1

Патент ВОІВ №2016154355А1 [34]

Представлений варіант пристрою (рис. 1.28) призначений для покращення програмних робототехнічних приводів та способів виготовлення їх поліпшених модифікацій. Передбачено способи виготовлення закріплювального шару для армування пружного робототехнічного приводу. В іншому варіанті здійснення описано м'який механічний привід, що має інтегровані датчики. Також описано гнучку електромеханічну пружину для досягнення конформного зчеплення. зразкові варіанти втілення забезпечують гідропідсилювальні м'які роботизивні захвати, що дозволяє зменшити розміри системи керування та поліпшити роботу системи подачі робочого тиску.

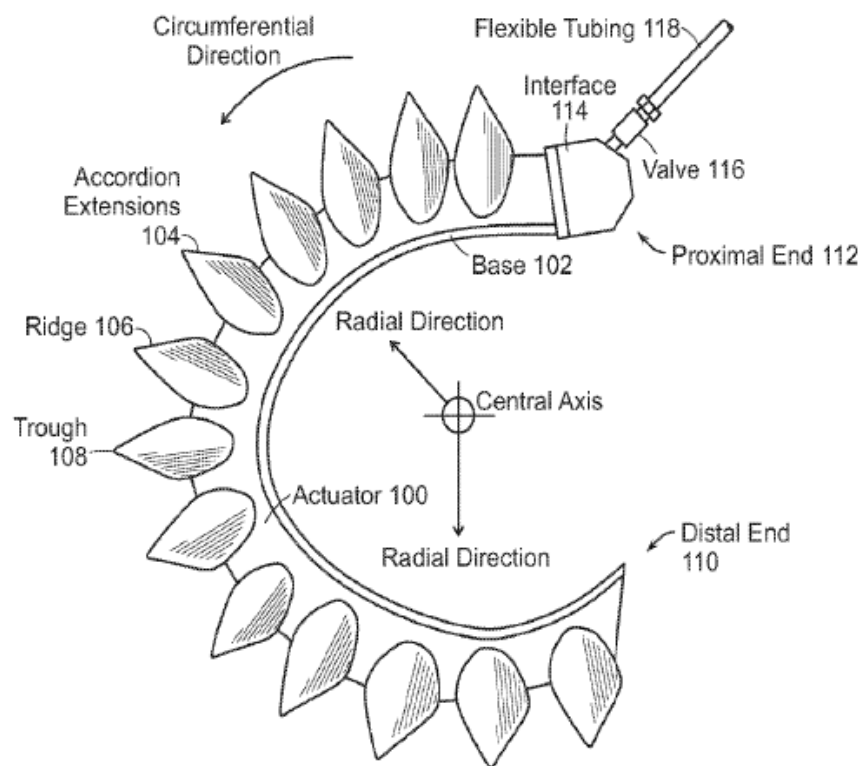


Рис. 1.27 Патент ВОІВ №2016154355А1

ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 1

Виконаний огляд дає можливість зробити наступні висновки:

- сучасний етап розвитку промислових роботів та маніпуляторів вимагає розробки нових підходів до проектування їх механізмів та пристосувань;
- розвиток систем керування та алгоритмів їх функціонування вимагає нових підходів до розробки їх основних механізмів, що забезпечують підвищення швидкодії та точності;
- затискні механізми є одними з ключових елементів які в великій мірі впливають на кінцеву точність позиціонування об'єктів маніпулювання та на швидкодію процесу маніпулювання;
- розробка технологій з використанням нових матеріалів при виготовленні елементів затискних механізмів та нових, нетрадиційних фізичних принципів роботи цих механізмів є нагальною задачею.

Мета і завдання дослідження

Метою роботи є розробка затискних механізмів з використанням нових матеріалів та нових фізичних принципів роботи цих механізмів.

Завданнями дослідження є

1. Виконати патентно-інформаційне дослідження для того щоб з'ясувати необхідні технічні та експлуатаційні характеристики механізму затиску робота-маніпулятора.
2. Розробка нових конструктивних рішень затискних механізмів з використанням адаптивних елементів в їх конструкції.
3. Створення математичних та розрахункових моделей для дослідження процесу затиску розробленими конструкціями захватних механізмів.
4. Виконати моделювання процесу затиску розробленими конструкціями захватних механізмів.

РОЗДІЛ 2

2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ЗАХВАТУ МОБІЛЬНОГО РОБОТА

Конструкція захватного пристрою побудована на модульному принципі. Основним елементом конструкції є елемент (рис. 2.1), що являє собою вигнуту з тонкого листа матеріалу (сталь, алюміній і т.п.) скобу 2 на одному кінці якої формується внутрішня частина сферичного шарніру 3 а на протилежному його зовнішня частина 13.

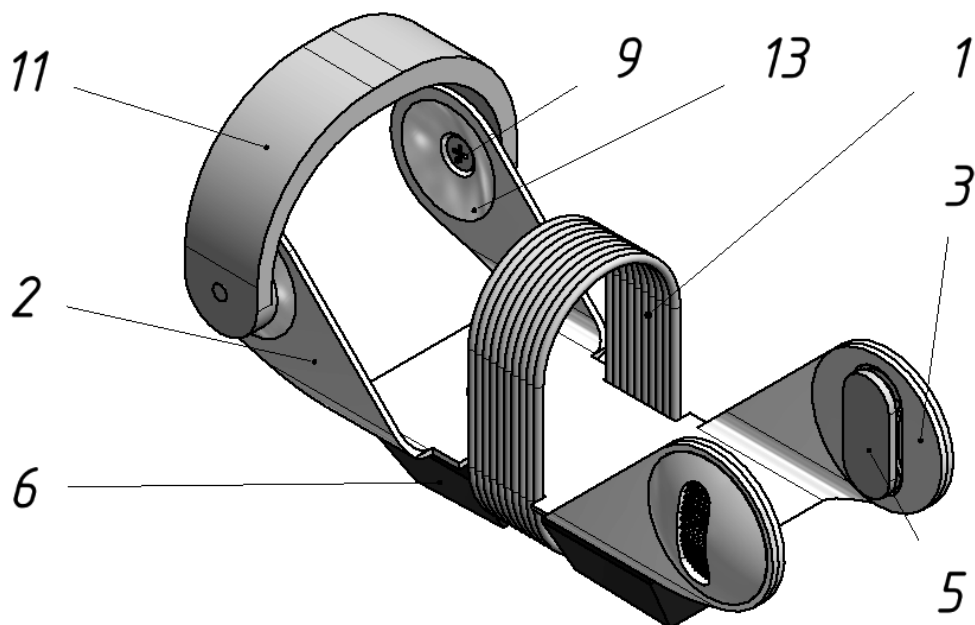


Рис. 2.1 Скоба з половинами сферичного шарніру

Для збільшення жорсткості шарнірного з'єднання до зовнішньої частини шарніру кріпиться гвинтами 9 скоба 11. В центрі сферичного елемента 3 виконано паз в який вставлено фіксуєчий елемент 5. Між сферичним елементом 3 та фіксуєчим елементом 5 встановлено плоска пружина 4

В центральній частині скоби 2 виконано паз до якого петлею з дроту 8 кріпиться трубчастий еластичний елемент 1 (рис. 2.2).

Трубчастий еластичний елемент 1 приклеєний до тонкої підложки 10. Підложка 10 прикріплює також дріт'яне обплетення 7 що обгортає трубчастий

елемент 1. Один з кінців трубчастого еластичного елемента закритий кришкою 14 яка приклеюється до внутрішньої поверхні трубчастого елемента. На рис 2.2 показано обплетення яке має перехресну навивку.

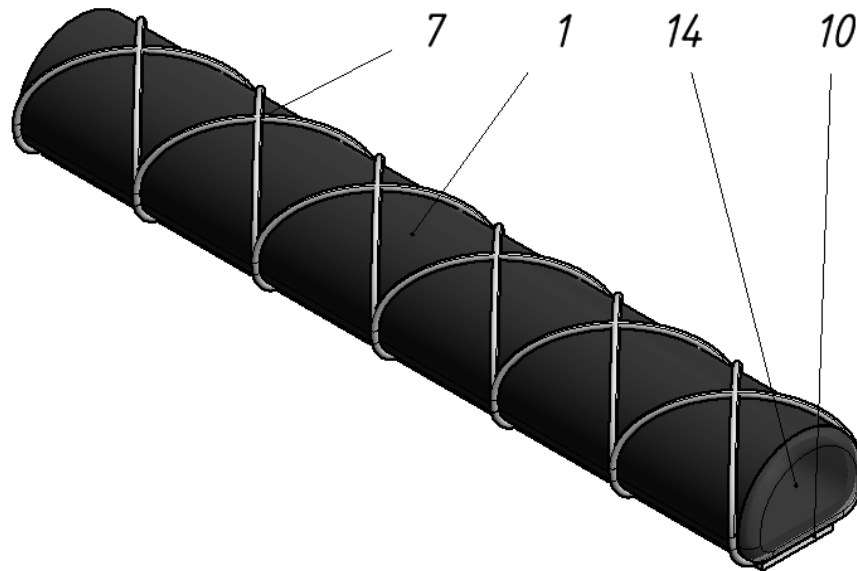


Рис 2.2 Обплетення яке має перехресну навивку

Другим варіантом виконання обплетення є обплетення яке має односторонню навивку (рис. 2.3). Такий варіант обплетення використовується для захватних пристроїв в яких рух затискних елементів буде здійснюватися зі зміщенням в бік виконання навивки.

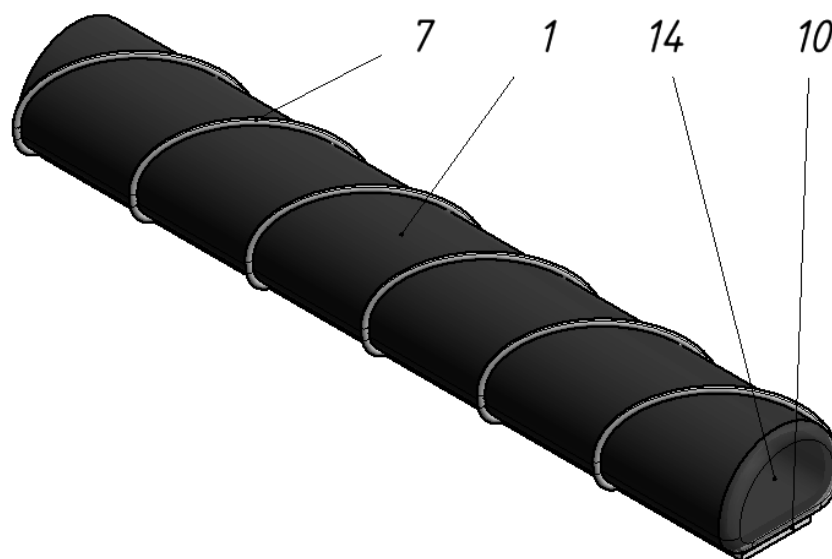


Рис 2.3 Обплетення яке має односторонню навивку

При створенні затискного елемента скоби 2 збираються в ланцюг (рис. 2.4). Кінець скоби 2 який має внутрішню частину сферичного шарніру збирається з кінцем іншої скоби який має зовнішню частину сферичного шарніру. До центру кожної зі скоб 2 дротяною петлею 8 кріпиться еластичний елемент 1. На зовнішній поверхні скоби кріпиться спеціальний упорний елемент 6 який утворює робочі (затискні) поверхні захватного пристрою.

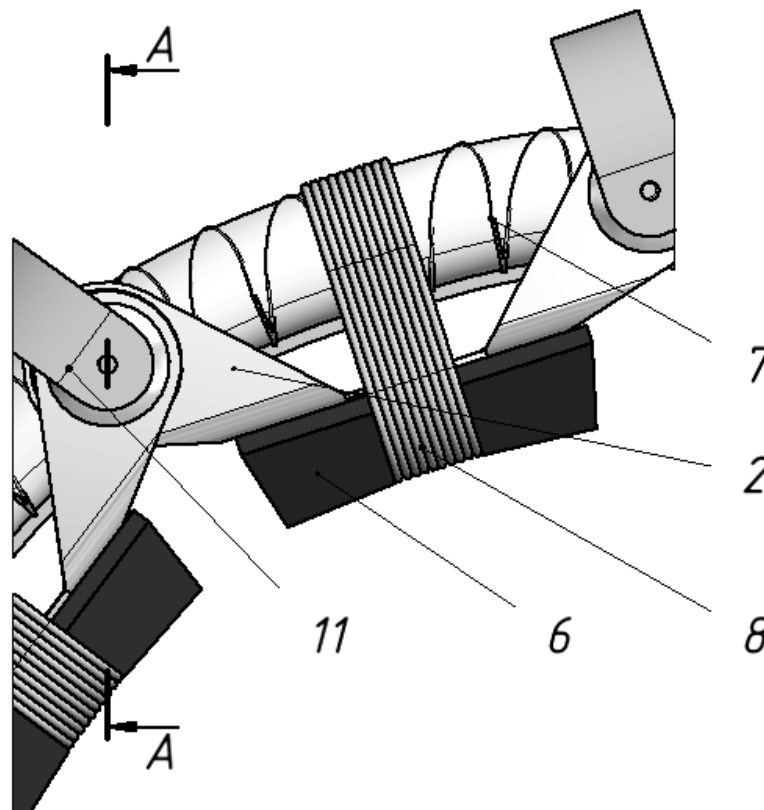


Рис. 2.4 Ланцюг затискних елементів

При подачі стисненого повітря в порожнину еластичного елемента 1 він починає деформуватись і видовжуватись штовхаючи скоби в осьовому напрямку, скоби розвертаються на сферичних шарнірах і притискають упорні елементи 6 до поверхні об'єкту що затискається.

Упорні елементи рухаються, притискаючись до поверхні об'єкту, що закріплюється. Коли рух упорних елементів стає неможливим еластичний елемент починає деформуватися в радіальному напрямку (рис.2.5).

Зовнішня поверхня фіксуючого елемента притискається до внутрішньої сферичної поверхні зовнішньої частини сферичного шарніру і фіксує його від обертання, утворюючи жорстке з'єднання.

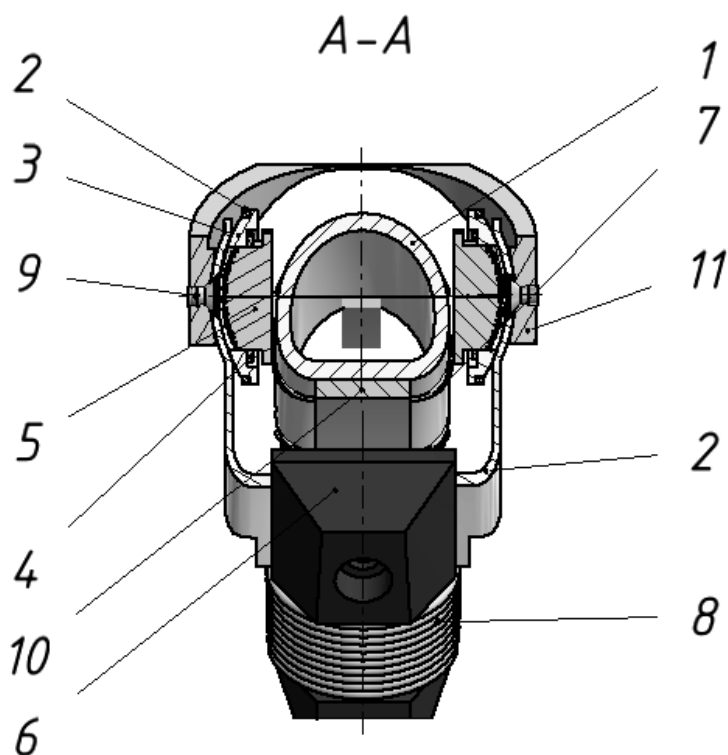


Рис. 2.6 Перетин триступеневого шарніра

При створенні конструкції захватного пристрою можливо використовувати будь-яку кількість скоб, підбираючи відповідну довжину еластичного елемента.

В залежності від форми захоплюваної поверхні, її розмірів та маси об'єкта можна створити затискний пристрій будь якого розміру та призначення.

Для під'єднання ланцюга затискних елементів (рис. 2.7) розроблено

спеціальну скобу 18 яка містить тільки внутрішню частину сферичного шарніру з одного боку а на протилежному боці виконано елемент для кріплення скоби до корпусу захватного пристрою та ущільнення підводу стисненого повітря в порожнину еластичного елемента.

Розроблено також спеціальну скобу яка закінчує ланцюг. Вона містить тільки зовнішню частину сферичного шарніру а протилежний кінець виконується таким чином, щоб здійснювати маніпулювання об'єктами невеликого розміру та складної форми.

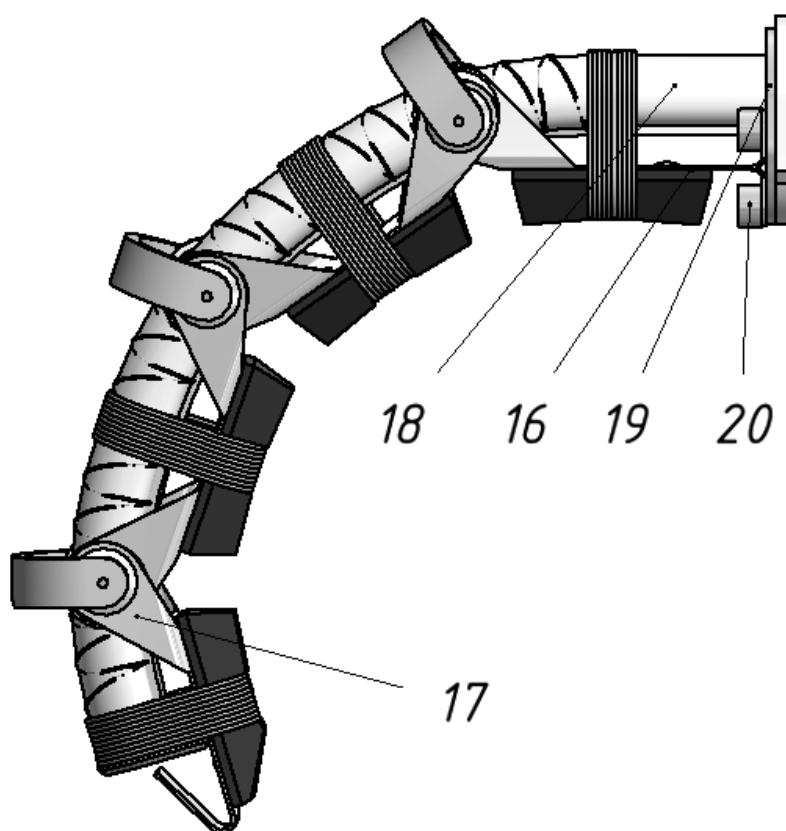


Рис. 2.7 Повний ланцюг затискних елементів

Для ефективного захоплення об'єктів великої маси необхідно збільшити кількість ланцюгів. За рахунок розташування ланцюгів можна формувати конфігурацію робочого простору в якому буде гарантовано надійне захоплення, закріплення та фіксація об'єкту маніпулювання.

На рис.2.8 представлено конструкцію захватного пристрою, що містить

чотири ланцюги затискних елементів. Такий захватний пристрій можливо використовувати при маніпулювання об'єктами невеликого розміру і помірної маси.

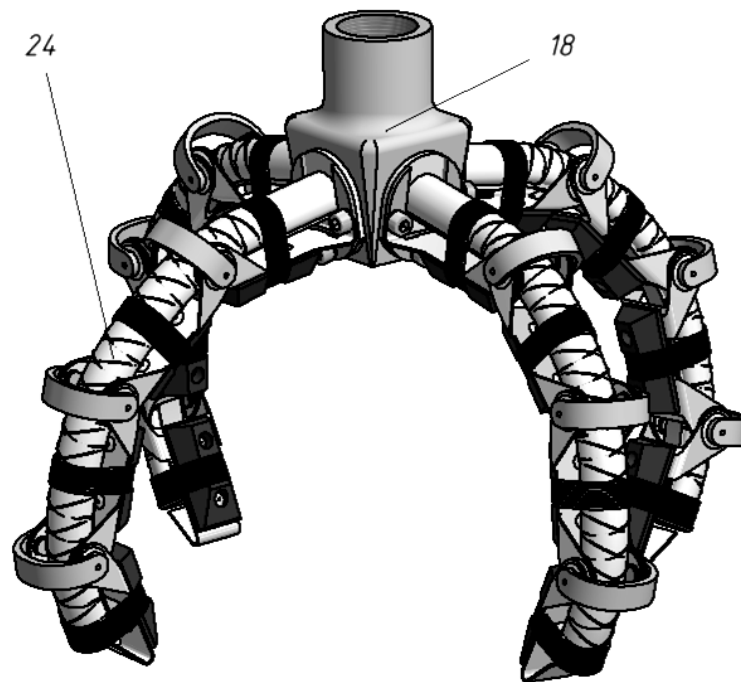


Рис.2.8 Конструкція захватного пристрою, що містить чотири ланцюги затискних елементів

Пристрій для маніпулювання об'єктами циліндричної форми (рис. 2.9).

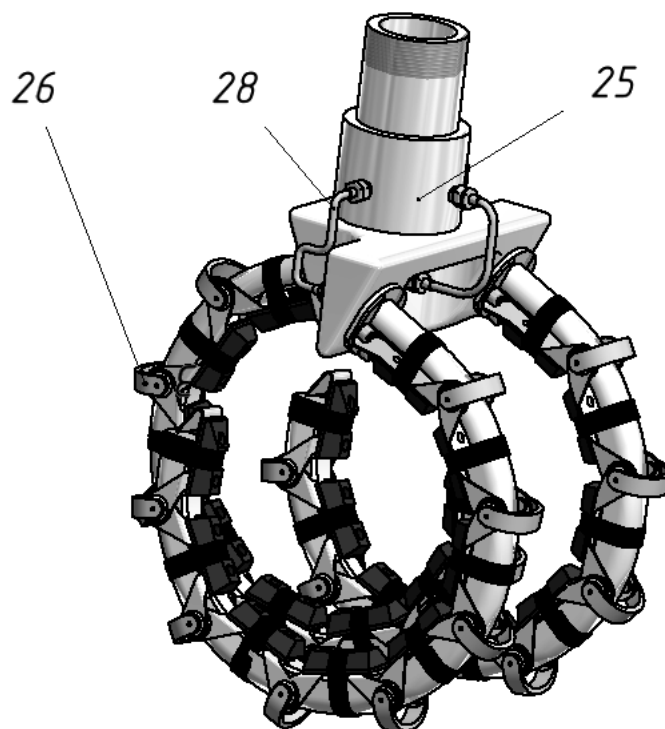


Рис.2.9 Захватний пристрій для маніпулювання довгими об'єктами

При маніпулюванні об'єктами значної маси для збільшення зусилля затиску необхідно збільшувати кількість затискних елементів. Цього просто досягти за рахунок форми корпусу захватного пристрою (рис. 2.10).

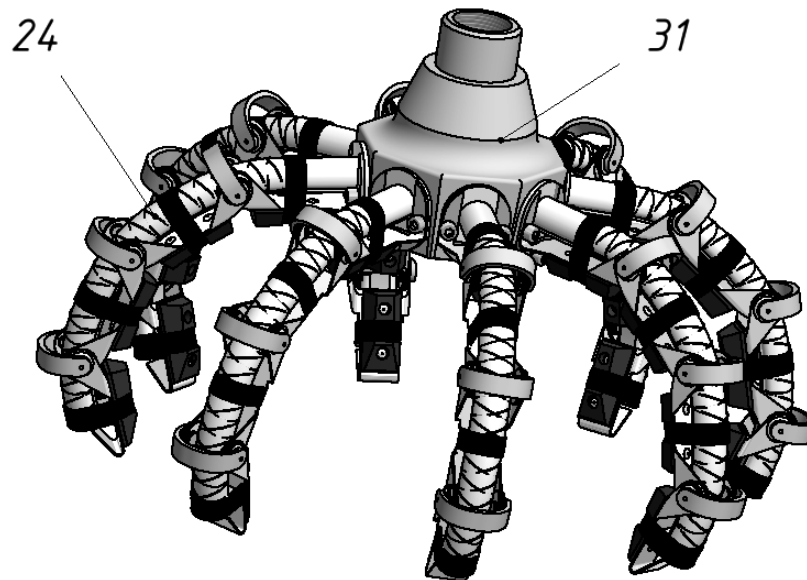


Рис. 2.10 Захватний пристрій для маніпулювання об'єктами значної маси

При використанні пристроїв зі значною кількістю затискних елементів значно збільшуються витрати стисненого повітря. Дещо виправити ситуацію можливо зменшивши кількість затискних елементів у ланцюгу і за рахунок цього скоротивши довжину (а відповідно і об'єм порожнини) еластичного елемента.

ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 2

1. Запропонована конструкція захватного пристрою містить ряд переваг у порівнянні з аналогічними конструкціями, зокрема для створення нової конфігурації достатньо замінити еластичний елемент елементом більшої довжини і додати певну кількість затискних модулів.

2. Розроблено цілий ряд варіантів захватних пристроїв для вирішення задач надійного затиску об'єктів різної форми, розмірів та маси.

3. При використанні пристроїв зі значною кількістю затискних елементів значно збільшуються витрати стисненого повітря. Дещо виправити ситуацію можливо зменшивши кількість затискних елементів у ланцюгу і за рахунок цього скоротивши довжину (а відповідно і об'єм порожнини) еластичного елемента.

РОЗДІЛ 3

3 МОДЕЛЮВАННЯ ДЕФОРМАЦІЇ ПРУЖНОГО ЕЛЕМЕНТА

3.1 ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА МОДЕЛЬНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

Моделювання здійснювалось засобами CAD Inventor. Використовувався модуль «Аналіз напружень»

В модулі «Аналіз напружень» використовують два типи моделювання:

- Статичний аналіз - розраховується напружено-деформований стан.
- Модальний аналіз - розраховуються частоти власних коливань, включаючи рух жорсткого тіла.

В модулі "Анализ напряжений" використовують такі допущення:

- «Аналіз напружень» використовує тільки для лінійні властивості матеріалів, напруження прямо пропорційне деформації в матеріалі (без надлишкової деформації матеріалу).
- повна деформація є малою величиною в порівнянні з товщиною деталі.
- результати не залежать від температури. При температурах, при яких працюють деталі, вона не впливає на властивості матеріалу.

Налаштування режиму моделювання виконується після ініціації модуля «Аналіз напружень». Діалогове вікно налаштування представлено на рис. 3.1.

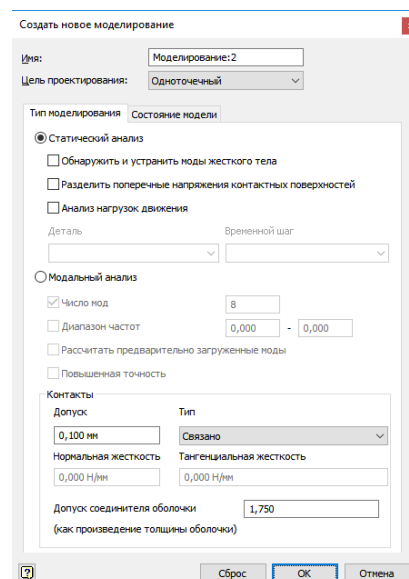


Рис. 3.1 Налаштування режиму моделювання

Параметри налаштування моделі здійснюються за наступним переліком:

- вибір матеріалу елементів моделі;
- залежності (встановлення зв'язків з зовнішніми, по відношенню до моделі, елементами конструкції);
- навантаження (сили, моменти, тиск та ін.);
- контакти (зв'язки між елементами моделі, зазвичай можуть бути визначені автоматично по геометричним обмеженням накладеним при складанні моделі);
- сітка.

Дерево вибору параметрів налаштувань представлено на рис 3.2.

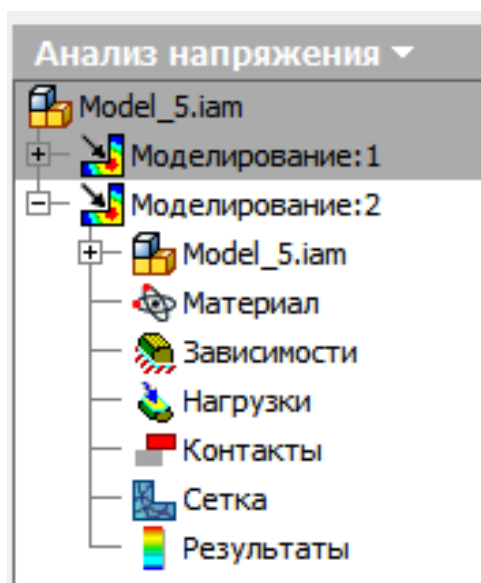
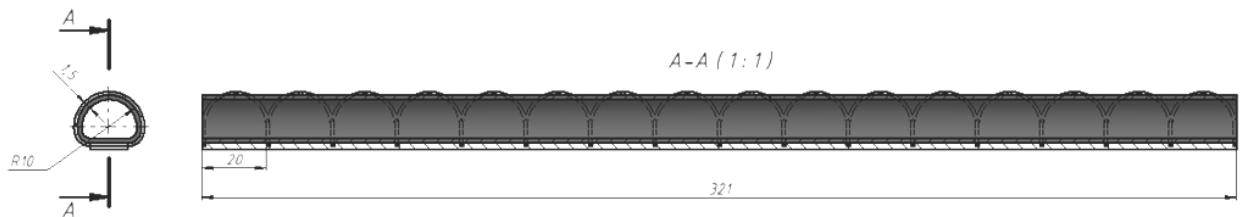


Рис. 3.2 Дерево вибору параметрів налаштувань

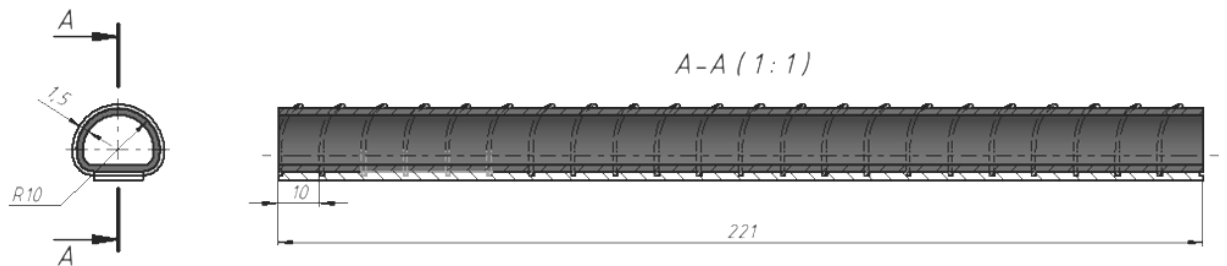
При виконанні моделювання були враховані наступні параметри конструкції пружного елемента:

- матеріали:
 - трубчатого елемента
 - резина,
 - труба ПВХ,
 - каучук сіліконовий
- підложки:
 - пластик ПВХ;

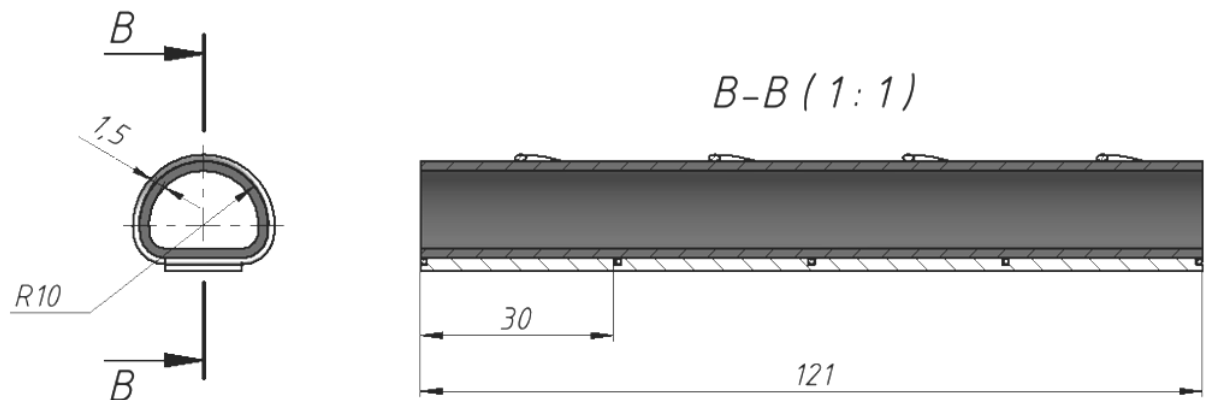
- нейлон;
- поліетилен;
- дроту для обплетення:
 - мідь;
 - сталь вуглецева;
 - титан.
- геометричні параметри моделі:
 - довжина трубчатого елемента:
 - $L=320$ мм;



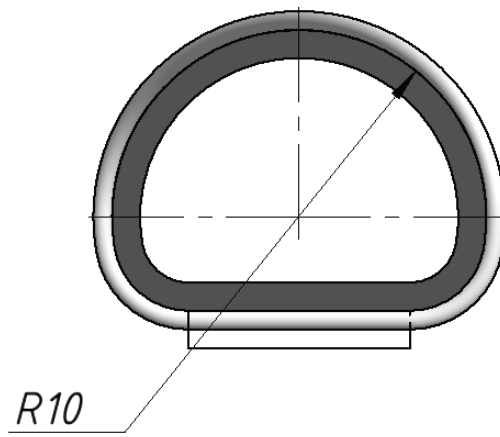
- $L=220$ мм;



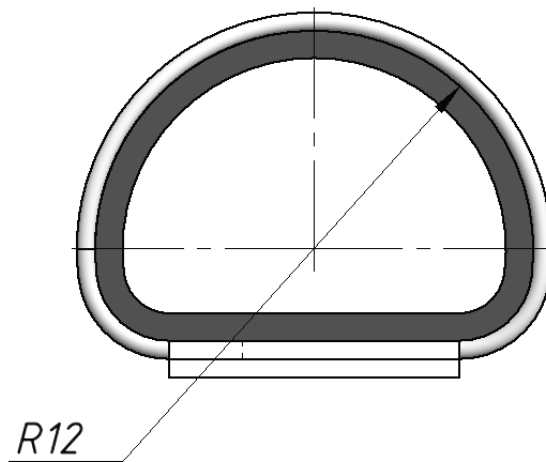
- 120 мм;



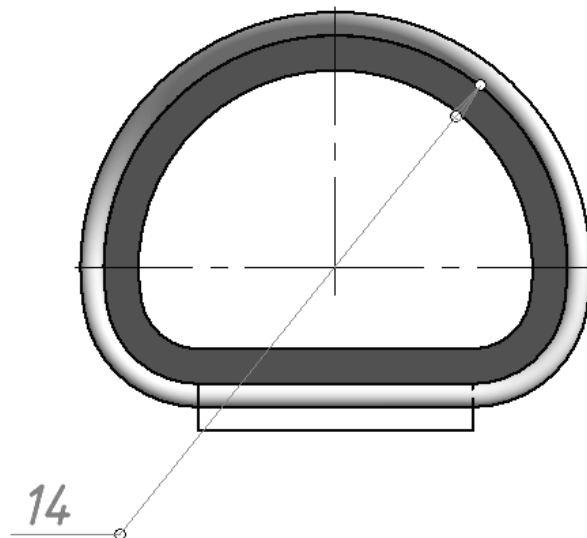
- діаметр трубчатого елемента:
 - $d=20$ мм;



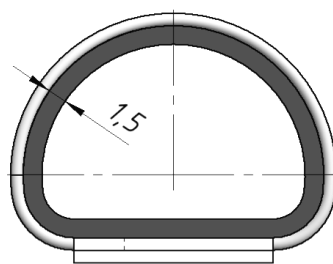
- $d=24 \text{ mm};$



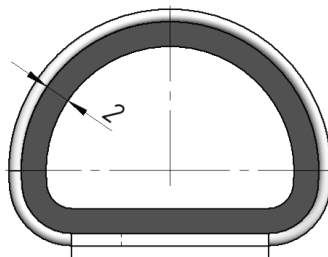
- $d=28 \text{ mm};$



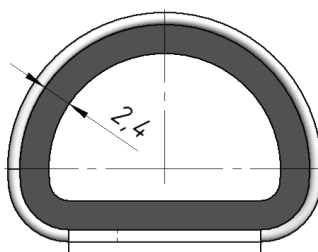
- товщина бокової стінки трубчастого елемента;
 - $t= 1.5 \text{ mm};$



- $t = 2 \text{ мм};$

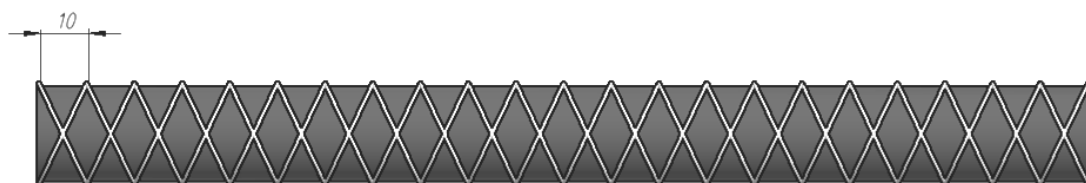


- $t = 2.4 \text{ мм};$



- **крок навивки дроту**

- $h = 10 \text{ мм};$



- $h = 20 \text{ мм};$

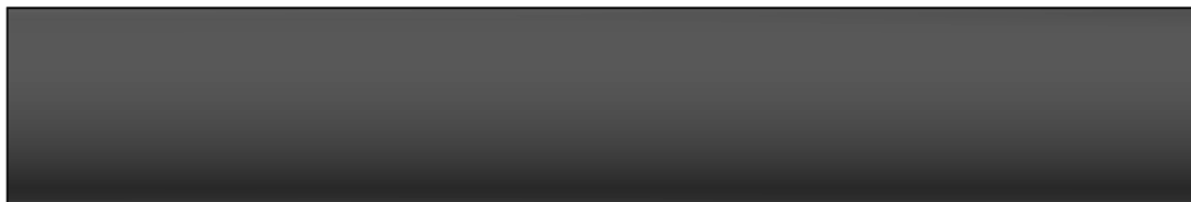


- $h = 30 \text{ мм};$

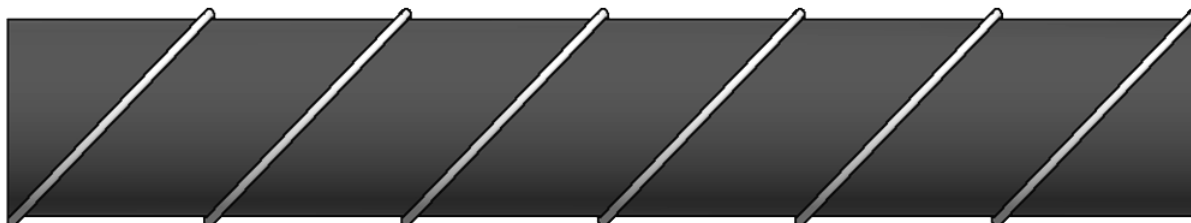


- **ТИП НАВИВКИ**

- **без навивки;**



- одностороння навивка;



- перехресна навивка;



При налаштуванні моделювання послідовність виконання налаштувань не має значення. Першим за порядком у дереві розташовано налаштування матеріалів які використовуються для виготовлення деталей моделі. Діалог налаштування представлено на рис. 3.3.

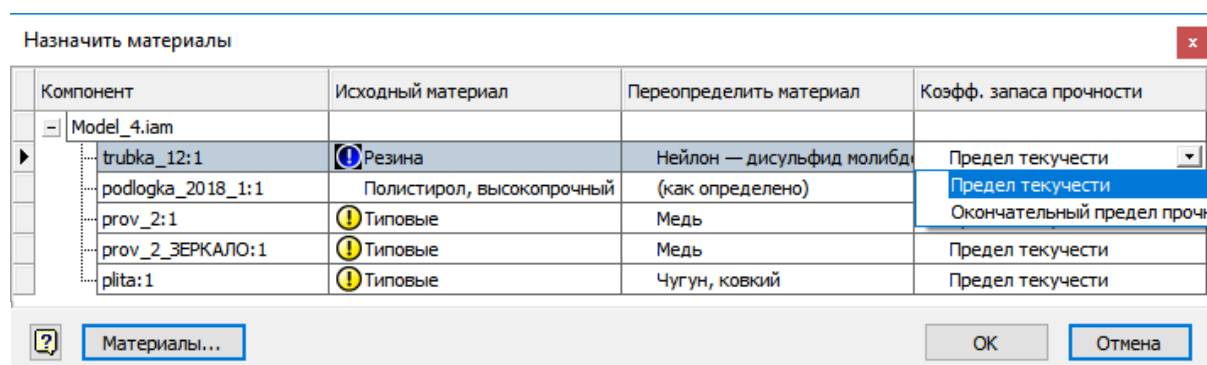


Рис. 3.3. Діалог налаштування матеріалів елементів моделі

Вибір матеріалів здійснюється з вбудованої бази даних де містяться значення основних механічних характеристик матеріалів (рис. 3.4)

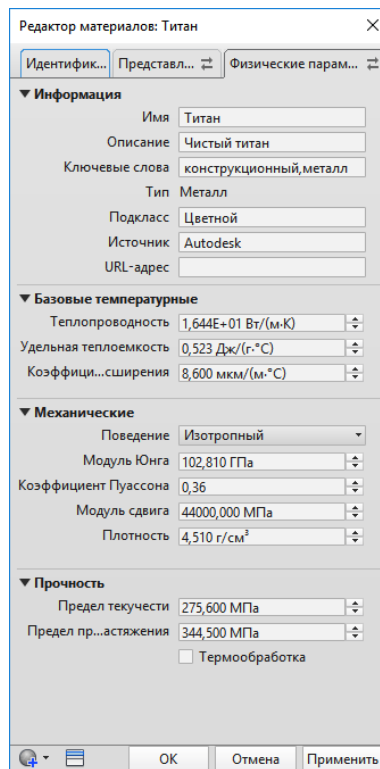


Рис. 3.4. Діалогове вікно редагування значень механічних характеристик матеріалу деталі моделі

Матеріал деталі можна змінювати і повторювати моделювання з новими значеннями механічних характеристик елемента моделі, підбираючи для конструкції необхідні механічні властивості.

Наступний елемент налаштування це вибір варіантів закріплення.

Використано два варіанти закріплення в моделі.

Абсолютна фіксація (рис. 3.5). Фіксує грань прибираючи всі ступені вільності.

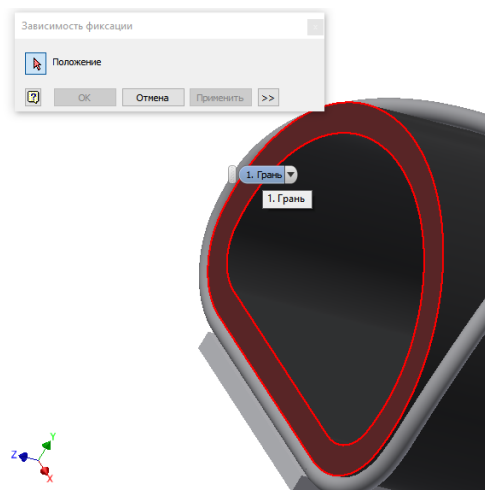


Рис. 3.5 Завдання абсолютної фіксації грані

Другий вид фіксації, що використовувався це фіксація виду «ідеальна опора» (рис. 3.6). В цьому випадку фіксується переміщення грані тільки в напрямку по нормалі до цієї грані. Два інші напрямки переміщення лишаються вільними

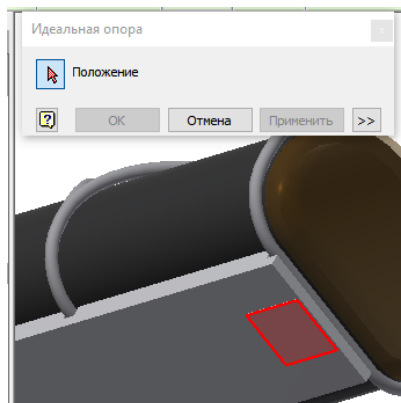


Рис. 3.6 Фіксація виду «ідеальна опора»

Наступне налаштування в моделі це створення навантажень. Існує декілька видів навантажень, які можна застосувати в моделі. Це сили (величини задаються в Н), моменти (величини задаються в Н*м) та тиск (величини задаються в МПа).

В нашій моделі ми досліджуємо напруження та деформації під дією тиску який створюється нагнітанням в порожнину еластичного елемента стисненого повітря.

Діалогове вікно налаштування навантаження представлено на рис. 3.7.

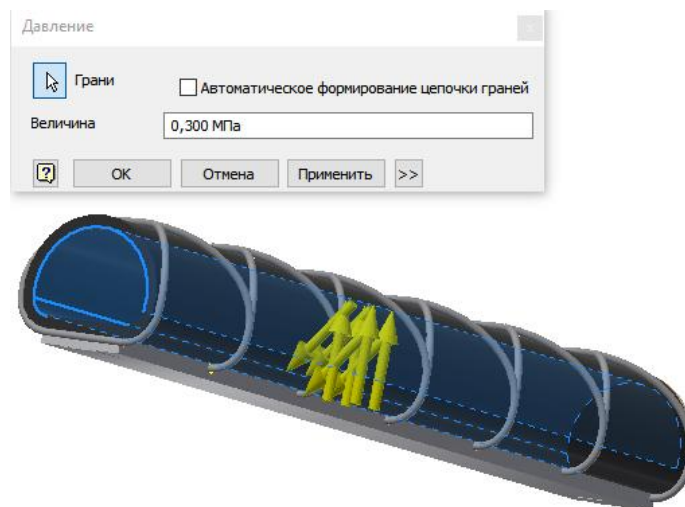


Рис. 3.7 Налаштування навантаження в моделі

Навантажується складальна модель, тобто модель, що містить три деталі еластичний трубчатий елемент, пластина що підкладається та дротяна навивка то наступний крок налаштування моделі є формування контактів між цими деталями. Цю дію можливо попередньо виконати автоматично, тобто, розглянувши геометричні залежності, які були накладені на збірку під час складання моделі машина сама встановить переважну більшість контактів, але деякі з них вона визначить некоректно. Тому частково їх доведеться відкорегувати вручну. Для цього використовується команда «Редагувати контакт» (рис. 3.8)

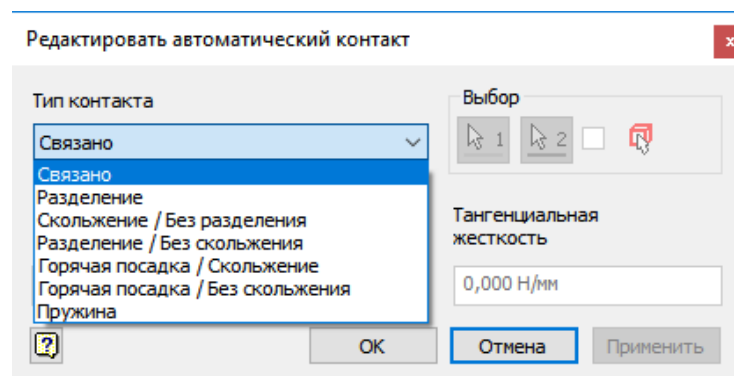


Рис. 3.8 Редагування контакту між гранями деталей збірки

Останнім кроком налаштування є формування триангуляційної сітки. Діалогове вікно корегування параметрів сітки представлено на рис. 3.9.

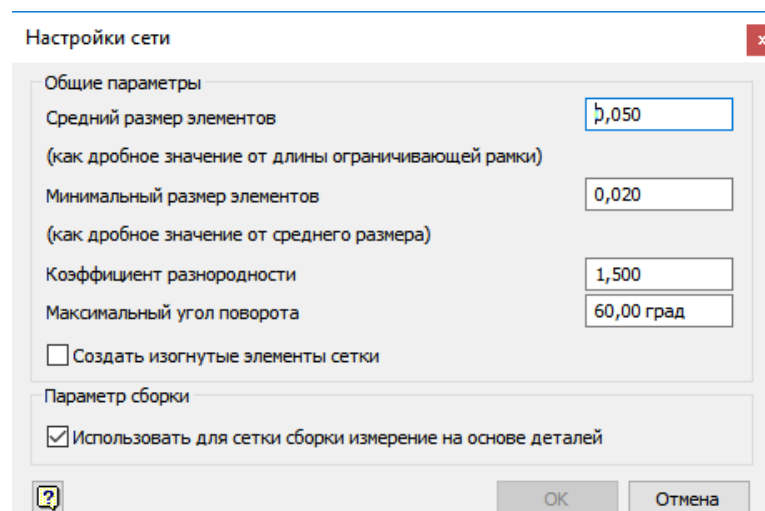


Рис. 3.9 Діалогове вікно корегування параметрів триангуляційної сітки

3.2 РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

Результати моделювання ми отримуємо у вигляді стилізованої картини у вигляді картини деформації моделі та на ній у вигляді кольорової діаграми наносяться значення досліджуваних параметрів моделювання.

В задачах поточного дослідження в першу чергу нас цікавили значення зміщення кромek елементів моделі. Картина деформації умовно представляє форму деталей моделі.

Наприклад на рис. 3.10 представлена картина деформації еластичного елемента довжиною $L=220$ мм, діаметром $D=24$ мм і товщиною стінки $t=2$ мм. Матеріал еластичного елемента – каучук силіконовий, під ложка пластик ПВХ.

В порожнину еластичного елемента подається тиск $p=0.8$ МПа.

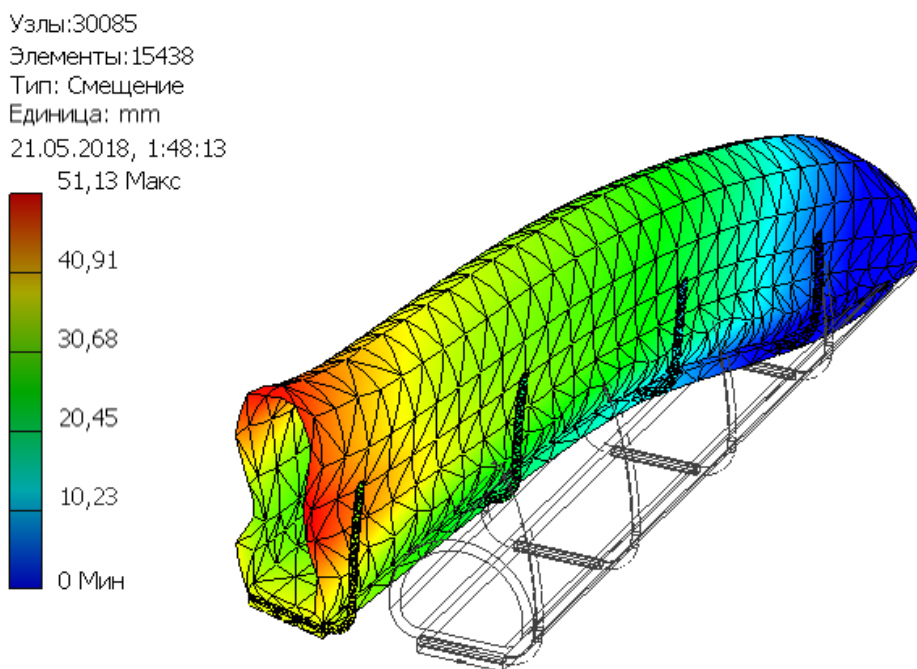
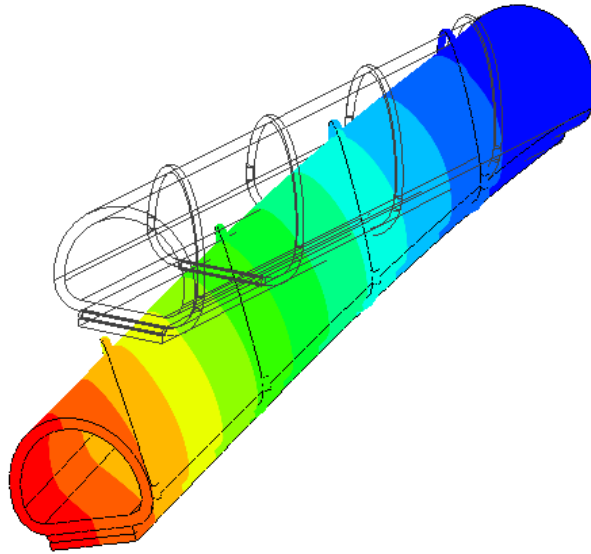
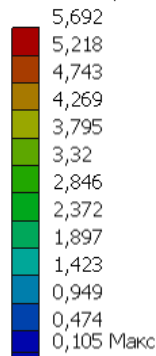


Рис. 3.10 Картина деформації еластичного елемента

На рис. 3.11 представлена картина деформації еластичного елемента довжиною $L=120$ мм, діаметром $D=20$ мм і товщиною стінки $t=2.4$ мм. Матеріал еластичного елемента – резина, під ложка пластик ПВХ.

В порожнину еластичного елемента подається тиск $p=0.3$ МПа.

Тип: Смещение по оси Y
Единица: mm
18.05.2018, 5:13:34



Y

Рис. 3.11 Картина деформации эластичного элемента

В двух попередніх випадках форма обплетення була одностороння. У випадку перехресного обплетення картина деформації буде дещо іншою. На рис. 3.12 представлена картина деформації еластичного елемента довжиною $L=120$ мм, діаметром $D=20$ мм і товщиною стінки $t=2.4$ мм. Матеріал еластичного елемента – резина, підложка пластик ПВХ.

В порожнину еластичного елемента подається тиск $p=0.2$ МПа.

Узлы:57979
Элементы:29679
Тип: Смещение по оси Y
Единица: mm
19.05.2018, 12:18:37
4,331 Макс

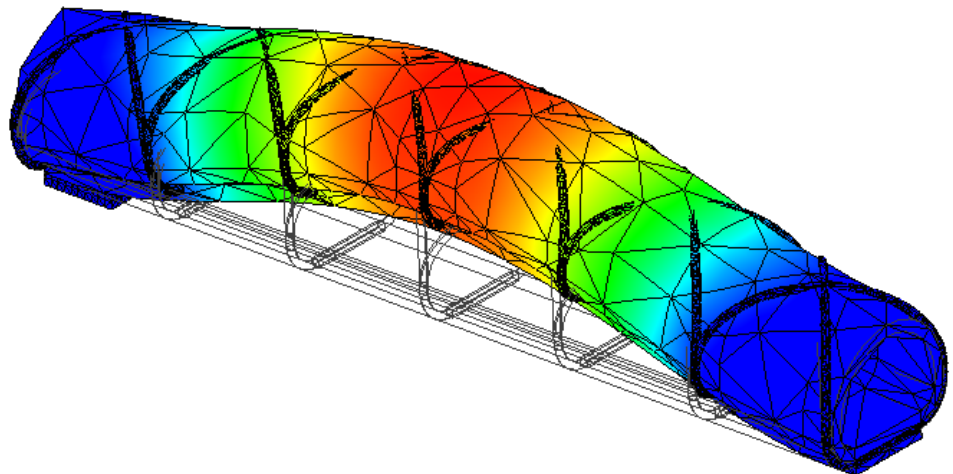
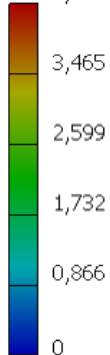


Рис. 3.12 Картина деформації еластичного елемента з перехресною формою обплетення

Результати моделювання можливо досліджувати оцінюючи деформацію по кожній з координатних осей. На рис. 3.13 представлено три діаграми на кожній з яких зображено деформацію по кожній з координатних осей окремо.

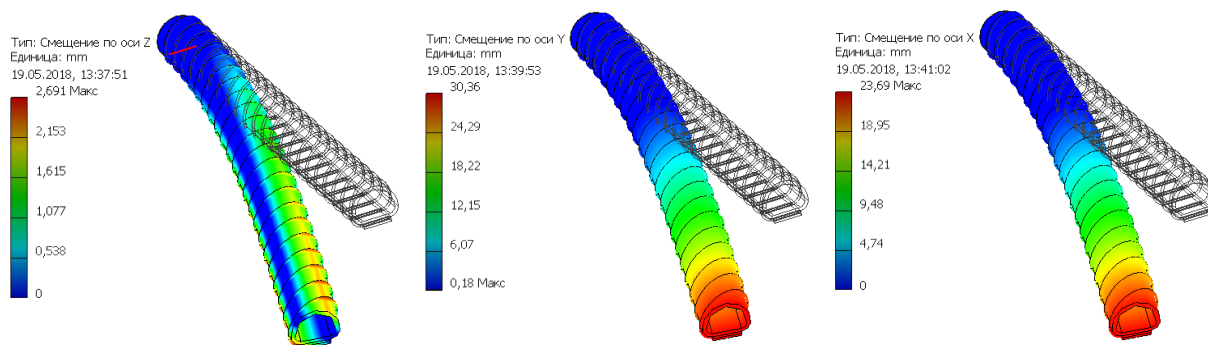


Рис. 3.13 Картина деформації еластичного елемента окремо по кожній з координатних осей

Було виконано машинний експеримент з кожною з розроблених моделей. При дослідженнях задавались різні види матеріалів. Використовувались моделі різних геометричних розмірів з різною формою обплетення.

Дослідження виконувались для значень робочого тиску стисненого повітря яке нагнітається в порожнинку еластичного елемента в інтервалі від 0.2 МПа до 1.2 МПа.

Результати, отримані при виконанні експериментів занесені в таблиці 3.1 – 3.9.

Таблиця 3.1 Матеріали: еластичний елемент - резина, підложка пластик ПВХ;

Матеріал дроту	Тип навивки	Крок обплетення h, мм	Довжина L, мм	Діаметр, мм	Товщина стілки t, мм	Параметри	Тиск, МПа					
							0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
Мідь	Одностороння	10	80	20	1.5	σ_{\max}	280.019	285.8	306.325	301.018	341.713	295.672
						y_{\max}	15.917	17.199	25.14	31.118	25.484	25.862
						x_{\max}	10.425	15.437	14.87	22.888	22.976	26.976
					2.0	σ_{\max}	294.31	287.578	311.887	331.712	373.942	305.349
						y_{\max}	14.068	15.41	23.392	20.793	21.434	32.327
						x_{\max}	8.912	11.932	12.435	9.568	16.394	14.011
				24	2.4	σ_{\max}	280.687	308.629	319.849	364.304	362.2	406.32
						y_{\max}	12.513	14.513	15.433	14.244	28.692	26.406
						x_{\max}	8.505	8.006	12.837	9.685	13.532	9.365
					1.5	σ_{\max}	298.805	307.171	312.753	349.621	334.585	366.68
						y_{\max}	14.515	16.033	20.349	15.039	15.568	22.979
						x_{\max}	8.195	8.378	13.589	15.157	10.273	12.929
Сталь вуглецева	Перехресна	20	80	28	2.0	σ_{\max}	295.074	301.677	323.044	362.06	354.973	361.467
						y_{\max}	12.737	16.441	14.914	21.676	23.692	23.867
						x_{\max}	9.481	10.482	12.827	12.608	17.115	16.732
					2.4	σ_{\max}	296.695	295.751	302.937	290.858	386.402	303.233
						y_{\max}	12.317	17.128	18.541	18.544	21.311	15.664
						x_{\max}	9.476	11.307	13.24	10.401	9.272	17.42
				20	1.5	σ_{\max}	295.241	283.615	329.039	290.481	308.386	417.995
						y_{\max}	14.651	15.94	17.962	20.148	25.763	26.551
						x_{\max}	8.012	8.403	13.179	13.979	11.801	14.634
					2.0	σ_{\max}	303.893	288.829	289.873	375.171	283.48	288.389
						y_{\max}	12.527	18.914	20.66	12.235	26.158	17.221
						x_{\max}	8.338	9.364	10.205	14.419	13.265	17.578
				24	2.4	σ_{\max}	284.345	304.145	292.291	287.941	366.001	378.647
						y_{\max}	13.245	18.464	15.411	26.324	26.876	20.667
						x_{\max}	8.457	8.918	11.255	13.247	13.247	9.136
				20	1.5	σ_{\max}	311.203	290.258	377.819	286.593	338.874	363.707
						y_{\max}	15.785	16.274	20.322	16.146	22.512	21.569
						x_{\max}	9.171	10.736	10.613	8.058	14.016	14.92
				24	2.0	σ_{\max}	288.893	280.343	289.872	416.812	442.211	445.958
						y_{\max}	14.121	13.142	20.735	12.497	24.89	14.051
						x_{\max}	9.896	12.497	13.891	10.338	11.675	10.624
				28	2.4	σ_{\max}	290.103	355.789	393.732	293.462	316.081	475.52
						y_{\max}	12.843	13.164	13.369	16.979	12.772	16.543
						x_{\max}	8.307	11.541	9.174	13.164	17.091	19.055
		30	120	24	1.5	σ_{\max}	288.293	342.649	435.597	407.285	350.205	395.583
						y_{\max}	15.181	12.562	19.089	15.163	24.887	26.503
						x_{\max}	8.883	9.586	11.553	15.596	11.917	10.224
					2.0	σ_{\max}	311.02	347.753	288.04	336.204	521.735	516.018
						y_{\max}	13.574	19.231	16.657	17.657	26.907	29.746
						x_{\max}	10.207	10.722	10.207	8.875	10.031	15.858
				28	2.4	σ_{\max}	303.379	285.41	282.837	321.785	304.256	293.844
						y_{\max}	12.993	17.552	19.859	13.573	19.993	23.137
						x_{\max}	9.456	9.696	10.233	10.433	12.433	11.727
					2.0	σ_{\max}	289.561	323.618	339.382	389.071	370.241	507.515
						y_{\max}	14.493	12.428	22.362	16.902	12.534	21.388
						x_{\max}	8.062	11.432	10.411	12.893	16.754	15.14
				2.4		σ_{\max}	324.417	346.15	375.627	430.694	282.865	394.764
						y_{\max}	15.084	18.959	20.707	26.303	22.712	30.722
						x_{\max}	8.395	13.093	13.093	14.169	14.169	11.008

Таблиця 3.2 Матеріали: еластичний елемент - резина, підложка нейлон

Матеріал дроту	Тип навівки	Крок обплетення h, мм	Довжина L, мм	Діаметр, мм	Товщина стілки t, мм	Параметри	Тиск, МПа					
Мідь	Одностороння	10	80	20	1.5	σ _{max} y _{max} x _{max}	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
							298.914	314.266	285.868	362.111	316.898	348.11
Титан	Одностороння	20	80	24	1.5	σ _{max} y _{max} x _{max}	12.768	19.96	19.772	14.786	19.772	32.134
							8.742	8.629	9.422	15.768	8.229	9.822
Сталь вуглецева	Перехресна	30	120	24	2.0	σ _{max} y _{max} x _{max}	310.585	319.694	347.824	440.513	604.861	339.754
							14.847	18.204	19.455	25.343	23.343	25.158
					2.4	σ _{max} y _{max} x _{max}	318.808	405.224	281.059	397.277	602.656	697.05
							14.602	17.872	23.485	17.812	30.093	22.915
					1.5	σ _{max} y _{max} x _{max}	280.019	285.8	306.325	301.018	341.713	295.672
							15.917	17.199	25.14	31.118	25.484	25.862
					2.0	σ _{max} y _{max} x _{max}	10.425	15.437	14.87	22.888	22.976	26.976
							299.143	328.283	346.302	386.768	444.586	320.474
					2.4	σ _{max} y _{max} x _{max}	15.317	18.266	24.674	29.562	39.426	40.689
							9.975	8.526	8.013	23.123	11.869	28.118
					1.5	σ _{max} y _{max} x _{max}	294.31	287.578	311.887	331.712	373.942	305.349
							14.068	15.41	23.392	20.793	21.434	32.327
					2.0	σ _{max} y _{max} x _{max}	8.912	11.932	12.435	9.568	16.394	14.011
							339.034	352.119	383.476	543.823	566.251	338.085
					2.4	σ _{max} y _{max} x _{max}	13.706	23.685	24.899	27.481	34.078	16.488
							9.875	17.154	8.483	16.977	13.715	12.698
					1.5	σ _{max} y _{max} x _{max}	297.369	350.857	312.891	391.792	476.558	473.902
							16.91	13.629	12.361	29.959	39.063	39.644
					2.0	σ _{max} y _{max} x _{max}	11.155	14.824	15.507	13.319	24.166	15.909
							303.893	288.829	289.873	375.171	283.48	288.389
					2.4	σ _{max} y _{max} x _{max}	12.527	18.914	20.66	12.235	26.158	17.221
							8.338	9.364	10.205	14.419	13.265	17.578
					1.5	σ _{max} y _{max} x _{max}	284.345	304.145	292.291	287.941	366.001	378.647
							13.245	18.464	15.411	26.324	26.876	20.667
					2.0	σ _{max} y _{max} x _{max}	8.457	8.918	11.255	13.247	13.247	9.136
							311.203	290.258	377.819	286.593	338.874	363.707
					2.4	σ _{max} y _{max} x _{max}	15.785	16.274	20.322	16.146	22.512	21.569
							9.171	10.736	10.613	8.058	14.016	14.92
					1.5	σ _{max} y _{max} x _{max}	299.143	328.283	346.302	386.768	444.586	320.474
							13.553	16.648	23.521	18.108	14.417	23.567
					2.0	σ _{max} y _{max} x _{max}	12.567	16.57	15.363	22.944	14.394	31.759
							299.023	367.795	441.982	344.967	520.441	313.326
					2.4	σ _{max} y _{max} x _{max}	12.858	15.705	26.649	31.54	38.936	21.697
							9.147	16.748	20.672	8.818	12.594	21.478
					1.5	σ _{max} y _{max} x _{max}	306.589	359.975	313.942	443.485	427.5	550.936
							15.234	22.432	16.099	20.905	22.563	26.323
					2.0	σ _{max} y _{max} x _{max}	9.625	10.015	9.876	25.879	13.553	24.802
							298.914	314.266	285.868	362.111	316.898	348.11
					2.4	σ _{max} y _{max} x _{max}	12.768	19.96	19.772	14.786	19.772	32.134
							8.742	8.629	9.422	15.768	8.229	9.822
					1.5	σ _{max} y _{max} x _{max}	302.032	321.391	333.082	342.963	444.565	332.911
							14.922	17	19.696	20.902	20.926	35.904
					2.0	σ _{max} y _{max} x _{max}	9.202	8.691	9.995	13.229	12.275	16.142
							299.367	311.155	336.458	280.154	450.177	303.714
					2.4	σ _{max} y _{max} x _{max}	14.736	13.233	12.582	12.297	24.952	33.939
							8.863	8.583	11.924	8.183	9.384	14.605

Таблиця 3.3 Матеріали: еластичний елемент - резина, підложка поліетилен;

Матеріал дроту	Тип навіски	Крок обплетення h, мм	Довжина L, мм	Діаметр, мм	Товщина стілки t, мм	Параметри	Тиск, МПа					
Мідь	Одностороння	10	80	20	1.5	σ _{max}	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
							0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
Сталь вуглецева	Перехресна	30	120	20	1.5	σ _{max}	303.893	288.829	289.873	375.171	283.48	288.389
						γ _{max}	12.527	18.914	20.66	12.235	26.158	17.221
						χ _{max}	8.338	9.364	10.205	14.419	13.265	17.578
					2.0	σ _{max}	284.345	304.145	292.291	287.941	366.001	378.647
						γ _{max}	13.245	18.464	15.411	26.324	26.876	20.667
						χ _{max}	8.457	8.918	11.255	13.247	13.247	9.136
					2.4	σ _{max}	311.203	290.258	377.819	286.593	338.874	363.707
						γ _{max}	15.785	16.274	20.322	16.146	22.512	21.569
						χ _{max}	9.171	10.736	10.613	8.058	14.016	14.92
				24	1.5	σ _{max}	299.143	328.283	346.302	386.768	444.586	320.474
						γ _{max}	13.553	16.648	23.521	18.108	14.417	23.567
						χ _{max}	12.567	16.57	15.363	22.944	14.394	31.759
					2.0	σ _{max}	297.369	350.857	312.891	391.792	476.558	473.902
						γ _{max}	16.91	13.629	12.361	29.959	39.063	39.644
						χ _{max}	11.155	14.824	15.507	13.319	24.166	15.909
					2.4	σ _{max}	339.034	352.119	383.476	543.823	566.251	338.085
						γ _{max}	13.706	23.685	24.899	27.481	34.078	16.488
						χ _{max}	9.875	17.154	8.483	16.977	13.715	12.698
				28	1.5	σ _{max}	298.914	314.266	285.868	362.111	316.898	348.11
						γ _{max}	12.768	19.96	19.772	14.786	19.772	32.134
						χ _{max}	8.742	8.629	9.422	15.768	8.229	9.822
					2.0	σ _{max}	310.585	319.694	347.824	440.513	604.861	339.754
						γ _{max}	14.847	18.204	19.455	25.343	23.343	25.158
						χ _{max}	8.493	9.971	12.019	12.987	15.988	19.867
					2.4	σ _{max}	318.808	405.224	281.059	397.277	602.656	697.05
						γ _{max}	14.602	17.872	23.485	17.812	30.093	22.915
						χ _{max}	9.739	8.157	13.617	9.319	9.169	11.567
				20	1.5	σ _{max}	302.032	321.391	333.082	342.963	444.565	332.911
						γ _{max}	14.922	17.17	19.696	20.902	20.926	35.904
						χ _{max}	9.202	8.691	9.995	13.229	12.275	16.142
					2.0	σ _{max}	299.143	328.283	346.302	386.768	444.586	320.474
						γ _{max}	15.317	18.266	24.674	29.562	39.426	40.689
						χ _{max}	9.975	8.526	8.013	23.123	11.869	28.118
					2.4	σ _{max}	306.589	359.975	313.942	443.485	427.5	550.936
						γ _{max}	15.234	22.432	16.099	20.905	22.563	26.323
						χ _{max}	9.625	10.015	9.876	25.879	13.553	24.802
				24	1.5	σ _{max}	299.023	367.795	441.982	344.967	520.441	313.326
						γ _{max}	12.858	15.705	26.649	31.54	38.936	21.697
						χ _{max}	9.147	16.748	20.672	8.818	12.594	21.478
					2.0	σ _{max}	299.367	311.155	336.458	280.154	450.177	303.714
						γ _{max}	14.736	13.233	12.582	12.297	24.952	33.939
						χ _{max}	8.863	8.583	11.924	8.183	9.384	14.605
					2.4	σ _{max}	312.905	395.469	434.741	435.342	372.174	626.261
						γ _{max}	13.808	22.399	15.433	33.368	12.864	14.133
						χ _{max}	9.285	9.161	15.424	8.986	16.441	23.466
				28	2.0	σ _{max}	296.563	305.315	331.468	338.159	284.973	408.922
						γ _{max}	14.593	16.596	12.182	32.764	32.989	33.684
						χ _{max}	10.798	11.782	21.282	27.282	22.599	20.211
					2.4	σ _{max}	294.018	320.872	328.527	409.378	421.937	443.537
						γ _{max}	17.22	23.27	28.98	15.064	26.186	28.234
						χ _{max}	10.274	9.361	11.192	23.944	24.462	31.443

Таблиця 3.4 Матеріали: еластичний елемент - труба ПВХ, підложка пластик ПВХ

Матеріал дроту	Тип навіски	Крок обплетення h, мм	Довжина L, мм	Діаметр, мм	Товщина стілки t, мм	Параметри	Тиск, МПа					
Мідь	Одностороння	10	80	20	1.5	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
							280.019	285.8	306.325	301.018	341.713	295.672
Титан	Одностороння	20	80	24	2.0	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	294.31	287.578	311.887	331.712	373.942	305.349
							14.068	15.41	23.392	20.793	21.434	32.327
Сталь вуглецева	Перехресна	30	120	28	2.4	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	8.912	11.932	12.435	9.568	16.394	14.011
							339.034	352.119	383.476	543.823	566.251	338.085
					1.5	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	13.706	23.685	24.899	27.481	34.078	16.488
							9.875	17.154	8.483	16.977	13.715	12.698
					2.0	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	302.032	321.391	333.082	342.963	444.565	332.911
							14.922	17.154	19.696	20.902	20.926	35.904
					2.4	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	9.202	8.691	9.995	13.229	12.275	16.142
							12.768	19.96	19.772	14.786	19.772	32.134
					1.5	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	8.742	8.629	9.422	15.768	8.229	9.822
							298.914	314.266	285.868	362.111	316.898	348.11
					2.0	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	297.369	350.857	312.891	391.792	476.558	473.902
							16.91	13.629	12.361	29.959	39.063	39.644
					2.4	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	11.155	14.824	15.507	13.319	24.166	15.909
							299.143	328.283	346.302	386.768	444.586	320.474
					1.5	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	15.317	18.266	24.674	29.562	39.426	40.689
							9.975	8.526	8.013	23.123	11.869	28.118
					2.0	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	299.143	328.283	346.302	386.768	444.586	320.474
							13.553	16.648	23.521	18.108	14.417	23.567
					2.4	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	12.567	16.57	15.363	22.944	14.394	31.759
							310.585	319.694	347.824	440.513	604.861	339.754
					1.5	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	14.847	18.204	19.455	25.343	23.343	25.158
							8.493	9.971	12.019	12.987	15.988	19.867
					2.0	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	303.893	288.829	289.873	375.171	283.48	288.389
							12.527	18.914	20.66	12.235	26.158	17.221
					2.4	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	8.338	9.364	10.205	14.419	13.265	17.578
							284.345	304.145	292.291	287.941	366.001	378.647
					1.5	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	13.245	18.464	15.411	26.324	26.876	20.667
							8.457	8.918	11.255	13.247	13.247	9.136
					2.0	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	311.203	290.258	377.819	286.593	338.874	363.707
							15.785	16.274	20.322	16.146	22.512	21.569
					2.4	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	9.171	10.736	10.613	8.058	14.016	14.92
							296.563	305.315	331.468	338.159	284.973	408.922
					1.5	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	14.593	16.596	12.182	32.764	32.989	33.684
							10.798	11.782	21.282	27.282	22.599	20.211
					2.0	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	318.808	405.224	281.059	397.277	602.656	697.05
							14.602	17.872	23.485	17.812	30.093	22.915
					2.4	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	9.739	8.157	13.617	9.319	9.169	11.567
							299.367	311.155	336.458	280.154	450.177	303.714
					1.5	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	14.736	13.233	12.582	12.297	24.952	33.939
							8.863	8.583	11.924	8.183	9.384	14.605
					2.0	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	299.023	367.795	441.982	344.967	520.441	313.326
							12.858	15.705	26.649	31.54	38.936	21.697
					2.4	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	9.147	16.748	20.672	8.818	12.594	21.478
							306.589	359.975	313.942	443.485	427.5	550.936
					1.5	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	15.234	22.432	16.099	20.905	22.563	26.323
							9.625	10.015	9.876	25.879	13.553	24.802

Таблиця 3.5 Матеріали: еластичний елемент - труба ПВХ, підложка нейлон

Матеріал дроту	Тип навівки	Крок обплетення h, мм	Довжина L, мм	Діаметр, мм	Товщина стілки t, мм	Параметри	Тиск, МПа					
Мідь	Одностороння	10	80	20	1.5	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
							280.019	285.8	306.325	301.018	341.713	295.672
Титан	Одностороння	20	80	24	2.0	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	15.917	17.199	25.14	31.118	25.484	25.862
							10.425	15.437	14.87	22.888	22.976	26.976
Сталь вуглецева	Перехресна	30	120	28	2.4	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	294.31	287.578	311.887	331.712	373.942	305.349
							14.068	15.41	23.392	20.793	21.434	32.327
					2.4	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	8.912	11.932	12.435	9.568	16.394	14.011
							302.032	321.391	333.082	342.963	444.565	332.911
					1.5	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	14.922	17.199	19.696	20.902	20.926	35.904
							9.202	8.691	9.995	13.229	12.275	16.142
					2.0	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	299.143	328.283	346.302	386.768	444.586	320.474
							13.553	16.648	23.521	18.108	14.417	23.567
					2.4	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	12.567	16.57	15.363	22.944	14.394	31.759
							297.369	350.857	312.891	391.792	476.558	473.902
					2.0	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	16.91	13.629	12.361	29.959	39.063	39.644
							11.155	14.824	15.507	13.319	24.166	15.909
					2.4	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	298.914	314.266	285.868	362.111	316.898	348.11
							12.768	19.96	19.772	14.786	19.772	32.134
					1.5	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	8.742	8.629	9.422	15.768	8.229	9.822
							280.62	366.279	363.327	304.303	514.252	544.326
					2.0	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	14.142	12.432	17.629	25.813	13.749	29.026
							9.728	9.172	11.629	14.629	16.719	18.95
					2.4	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	310.585	319.694	347.824	440.513	604.861	339.754
							14.847	18.204	19.455	25.343	23.343	25.158
					2.0	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	8.493	9.971	12.019	12.987	15.988	19.867
							306.589	359.975	313.942	443.485	427.5	550.936
					2.4	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	15.234	22.432	16.099	20.905	22.563	26.323
							9.625	10.015	9.876	25.879	13.553	24.802
					1.5	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	339.034	352.119	383.476	543.823	566.251	338.085
							13.706	23.685	24.899	27.481	34.078	16.488
					2.0	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	9.875	17.154	8.483	16.977	13.715	12.698
							299.023	367.795	441.982	344.967	520.441	313.326
					2.4	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	12.858	15.705	26.649	31.54	38.936	21.697
							9.147	16.748	20.672	8.818	12.594	21.478
					1.5	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	299.143	328.283	346.302	386.768	444.586	320.474
							15.317	18.266	24.674	29.562	39.426	40.689
					2.0	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	9.975	8.526	8.013	23.123	11.869	28.118
							299.367	311.155	336.458	280.154	450.177	303.714
					2.4	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	14.736	13.233	12.582	12.297	24.952	33.939
							8.863	8.583	11.924	8.183	9.384	14.605
					2.0	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	303.893	288.829	289.873	375.171	283.48	288.389
							12.527	18.914	20.66	12.235	26.158	17.221
					2.4	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	8.338	9.364	10.205	14.419	13.265	17.578
							284.345	304.145	292.291	287.941	366.001	378.647
					2.0	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	13.245	18.464	15.411	26.324	26.876	20.667
							8.457	8.918	11.255	13.247	13.247	9.136
					2.4	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	311.203	290.258	377.819	286.593	338.874	363.707
							15.785	16.274	20.322	16.146	22.512	21.569
					2.0	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	9.171	10.736	10.613	8.058	14.016	14.92
							318.808	405.224	281.059	397.277	602.656	697.05
					2.4	σ_{\max} y_{\max} x_{\max}	14.602	17.872	23.485	17.812	30.093	22.915
							9.739	8.157	13.617	9.319	9.169	11.567

Таблиця 36 Матеріали: еластичний елемент - труба ПВХ, підложка поліетилен

Матеріал дроту	Мідь	Титан	Сталь вуглецева	Одностороння	Крок обплетення h, мм	Довжина L, мм	Діаметр, мм	Товщина стілки t, мм	Параметри	Тиск, МПа					
										0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
	Одностороння	10	80	20	1.5	σ_{\max}	280.019	285.8	306.325	301.018	341.713	295.672			
						y_{\max}	15.917	17.199	25.14	31.118	25.484	25.862			
						x_{\max}	10.425	15.437	14.87	22.888	22.976	26.976			
					2.0	σ_{\max}	294.31	287.578	311.887	331.712	373.942	305.349			
						y_{\max}	14.068	15.41	23.392	20.793	21.434	32.327			
						x_{\max}	8.912	11.932	12.435	9.568	16.394	14.011			
					2.4	σ_{\max}	318.808	405.224	281.059	397.277	602.656	697.05			
						y_{\max}	14.602	17.872	23.485	17.812	30.093	22.915			
						x_{\max}	9.739	8.157	13.617	9.319	9.169	11.567			
				24	1.5	σ_{\max}	302.032	321.391	333.082	342.963	444.565	332.911			
						y_{\max}	14.922	17.17	19.696	20.902	20.926	35.904			
						x_{\max}	9.202	8.691	9.995	13.229	12.275	16.142			
					2.0	σ_{\max}	310.585	319.694	347.824	440.513	604.861	339.754			
						y_{\max}	14.847	18.204	19.455	25.343	23.343	25.158			
						x_{\max}	8.493	9.971	12.019	12.987	15.988	19.867			
					2.4	σ_{\max}	280.62	366.279	363.327	304.303	514.252	544.326			
						y_{\max}	14.142	12.432	17.629	25.813	13.749	29.026			
						x_{\max}	9.728	9.172	11.629	14.629	16.719	18.95			
	28	1.5		σ_{\max}	303.893	288.829	289.873	375.171	283.48	288.389					
				y_{\max}	12.527	18.914	20.66	12.235	26.158	17.221					
				x_{\max}	8.338	9.364	10.205	14.419	13.265	17.578					
		2.0		σ_{\max}	284.345	304.145	292.291	287.941	366.001	378.647					
				y_{\max}	13.245	18.464	15.411	26.324	26.876	20.667					
				x_{\max}	8.457	8.918	11.255	13.247	13.247	9.136					
		2.4		σ_{\max}	311.203	290.258	377.819	286.593	338.874	363.707					
				y_{\max}	15.785	16.274	20.322	16.146	22.512	21.569					
				x_{\max}	9.171	10.736	10.613	8.058	14.016	14.92					
	Перехресна	20		120	20	1.5	σ_{\max}	298.914	314.266	285.868	362.111	316.898	348.11		
							y_{\max}	12.768	19.96	19.772	14.786	19.772	32.134		
							x_{\max}	8.742	8.629	9.422	15.768	8.229	9.822		
						2.0	σ_{\max}	299.367	311.155	336.458	280.154	450.177	303.714		
							y_{\max}	14.736	13.233	12.582	12.297	24.952	33.939		
							x_{\max}	8.863	8.583	11.924	8.183	9.384	14.605		
						2.4	σ_{\max}	299.143	328.283	346.302	386.768	444.586	320.474		
							y_{\max}	13.553	16.648	23.521	18.108	14.417	23.567		
							x_{\max}	12.567	16.57	15.363	22.944	14.394	31.759		
24			1.5		σ_{\max}	299.023	367.795	441.982	344.967	520.441	313.326				
					y_{\max}	12.858	15.705	26.649	31.54	38.936	21.697				
					x_{\max}	9.147	16.748	20.672	8.818	12.594	21.478				
			2.0		σ_{\max}	306.589	359.975	313.942	443.485	427.5	550.936				
					y_{\max}	15.234	22.432	16.099	20.905	22.563	26.323				
					x_{\max}	9.625	10.015	9.876	25.879	13.553	24.802				
			2.4		σ_{\max}	297.369	350.857	312.891	391.792	476.558	473.902				
					y_{\max}	16.91	13.629	12.361	29.959	39.063	39.644				
					x_{\max}	11.155	14.824	15.507	13.319	24.166	15.909				
28	2.0	σ_{\max}	339.034	352.119	383.476	543.823	566.251	338.085							
		y_{\max}	13.706	23.685	24.899	27.481	34.078	16.488							
		x_{\max}	9.875	17.154	8.483	16.977	13.715	12.698							
	2.4	σ_{\max}	299.143	328.283	346.302	386.768	444.586	320.474							
		y_{\max}	15.317	18.266	24.674	29.562	39.426	40.689							
		x_{\max}	9.975	8.526	8.013	23.123	11.869	28.118							

Таблиця 37 Матеріали: еластичний елемент каучук сіліконовий пластик ПВХ

Матеріал дроту	Мідь	Титан	Сталь вуглецева	Тип навівки	Одностороння	Крок обплетення h, мм	Довжина L, мм	Діаметр, мм	Товщина стінки t, мм	Параметри	Тиск, МПа						
											0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	
				10	80	20	24	20	1.5	σ_{\max}	280.019	285.8	306.325	301.018	341.713	295.672	
										y_{\max}	15.917	17.199	25.14	31.118	25.484	25.862	
										x_{\max}	10.425	15.437	14.87	22.888	22.976	26.976	
									2.0	σ_{\max}	294.31	287.578	311.887	331.712	373.942	305.349	
										y_{\max}	14.068	15.41	23.392	20.793	21.434	32.327	
										x_{\max}	8.912	11.932	12.435	9.568	16.394	14.011	
									2.4	σ_{\max}	302.032	321.391	333.082	342.963	444.565	332.911	
										y_{\max}	14.922	17.17	19.696	20.902	20.926	35.904	
										x_{\max}	9.202	8.691	9.995	13.229	12.275	16.142	
									1.5	σ_{\max}	339.034	352.119	383.476	543.823	566.251	338.085	
										y_{\max}	13.706	23.685	24.899	27.481	34.078	16.488	
										x_{\max}	9.875	17.154	8.483	16.977	13.715	12.698	
	2.0	σ_{\max}	297.369	350.857	312.891	391.792	476.558	473.902									
		y_{\max}	16.91	13.629	12.361	29.959	39.063	39.644									
		x_{\max}	11.155	14.824	15.507	13.319	24.166	15.909									
	2.4	σ_{\max}	306.589	359.975	313.942	443.485	427.5	550.936									
		y_{\max}	15.234	22.432	16.099	20.905	22.563	26.323									
		x_{\max}	9.625	10.015	9.876	25.879	13.553	24.802									
					20	80	28	20	24	1.5	σ_{\max}	298.914	314.266	285.868	362.111	316.898	348.11
											y_{\max}	12.768	19.96	19.772	14.786	19.772	32.134
											x_{\max}	8.742	8.629	9.422	15.768	8.229	9.822
										2.0	σ_{\max}	299.143	328.283	346.302	386.768	444.586	320.474
											y_{\max}	13.553	16.648	23.521	18.108	14.417	23.567
											x_{\max}	12.567	16.57	15.363	22.944	14.394	31.759
2.4										σ_{\max}	318.808	405.224	281.059	397.277	602.656	697.05	
										y_{\max}	14.602	17.872	23.485	17.812	30.093	22.915	
										x_{\max}	9.739	8.157	13.617	9.319	9.169	11.567	
1.5										σ_{\max}	310.585	319.694	347.824	440.513	604.861	339.754	
										y_{\max}	14.847	18.204	19.455	25.343	23.343	25.158	
										x_{\max}	8.493	9.971	12.019	12.987	15.988	19.867	
2.0	σ_{\max}	303.893	288.829	289.873	375.171	283.48	288.389										
	y_{\max}	12.527	18.914	20.66	12.235	26.158	17.221										
	x_{\max}	8.338	9.364	10.205	14.419	13.265	17.578										
				30	120	24	28	24	2.4	σ_{\max}	284.345	304.145	292.291	287.941	366.001	378.647	
										y_{\max}	13.245	18.464	15.411	26.324	26.876	20.667	
										x_{\max}	8.457	8.918	11.255	13.247	13.247	9.136	
									1.5	σ_{\max}	311.203	290.258	377.819	286.593	338.874	363.707	
										y_{\max}	15.785	16.274	20.322	16.146	22.512	21.569	
										x_{\max}	9.171	10.736	10.613	8.058	14.016	14.92	
									2.0	σ_{\max}	299.367	311.155	336.458	280.154	450.177	303.714	
										y_{\max}	14.736	13.233	12.582	12.297	24.952	33.939	
										x_{\max}	8.863	8.583	11.924	8.183	9.384	14.605	
									2.4	σ_{\max}	299.143	328.283	346.302	386.768	444.586	320.474	
										y_{\max}	15.317	18.266	24.674	29.562	39.426	40.689	
										x_{\max}	9.975	8.526	8.013	23.123	11.869	28.118	
2.0	σ_{\max}	280.62	366.279	363.327	304.303	514.252	544.326										
	y_{\max}	14.142	12.432	17.629	25.813	13.749	29.026										
	x_{\max}	9.728	9.172	11.629	14.629	16.719	18.95										
2.4	σ_{\max}	299.023	367.795	441.982	344.967	520.441	313.326										
	y_{\max}	12.858	15.705	26.649	31.54	38.936	21.697										
	x_{\max}	9.147	16.748	20.672	8.818	12.594	21.478										

Таблиця 38 Матеріали: еластичний елемент каучук сіліконовий підложка нейлон

Матеріал дроту	Тип навівки	Крок облєтєння h, мм	Довжина L, мм	Діаметр, мм	Товщина стінки t, мм	Параметри	Тиск, МПа					
							0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
Мідь	Одностороння	10	80	20	1.5	σ _{max}	280.019	285.8	306.325	301.018	341.713	295.672
						у _{max}	15.917	17.199	25.14	31.118	25.484	25.862
						х _{max}	10.425	15.437	14.87	22.888	22.976	26.976
					2.0	σ _{max}	294.31	287.578	311.887	331.712	373.942	305.349
						у _{max}	14.068	15.41	23.392	20.793	21.434	32.327
						х _{max}	8.912	11.932	12.435	9.568	16.394	14.011
		2.4		σ _{max}	306.589	359.975	313.942	443.485	427.5	550.936		
				у _{max}	15.234	22.432	16.099	20.905	22.563	26.323		
				х _{max}	9.625	10.015	9.876	25.879	13.553	24.802		
		24		1.5	σ _{max}	297.369	350.857	312.891	391.792	476.558	473.902	
					у _{max}	16.91	13.629	12.361	29.959	39.063	39.644	
					х _{max}	11.155	14.824	15.507	13.319	24.166	15.909	
2.0	σ _{max}		318.808	405.224	281.059	397.277	602.656	697.05				
	у _{max}		14.602	17.872	23.485	17.812	30.093	22.915				
	х _{max}		9.739	8.157	13.617	9.319	9.169	11.567				
28	2.4	σ _{max}	298.914	314.266	285.868	362.111	316.898	348.11				
		у _{max}	12.768	19.96	19.772	14.786	19.772	32.134				
		х _{max}	8.742	8.629	9.422	15.768	8.229	9.822				
	1.5	σ _{max}	280.62	366.279	363.327	304.303	514.252	544.326				
		у _{max}	14.142	12.432	17.629	25.813	13.749	29.026				
		х _{max}	9.728	9.172	11.629	14.629	16.719	18.95				
20	2.0	σ _{max}	310.585	319.694	347.824	440.513	604.861	339.754				
		у _{max}	14.847	18.204	19.455	25.343	23.343	25.158				
		х _{max}	8.493	9.971	12.019	12.987	15.988	19.867				
	2.4	σ _{max}	302.032	321.391	333.082	342.963	444.565	332.911				
		у _{max}	14.922	17.966	20.902	20.926	35.904					
		х _{max}	9.202	8.691	9.995	13.229	12.275	16.142				
Перехресна	Одностороння	30	120	20	1.5	σ _{max}	299.143	328.283	346.302	386.768	444.586	320.474
						у _{max}	15.317	18.266	24.674	29.562	39.426	40.689
						х _{max}	9.975	8.526	8.013	23.123	11.869	28.118
					2.0	σ _{max}	303.893	288.829	289.873	375.171	283.48	288.389
						у _{max}	12.527	18.914	20.66	12.235	26.158	17.221
						х _{max}	8.338	9.364	10.205	14.419	13.265	17.578
		2.4		σ _{max}	284.345	304.145	292.291	287.941	366.001	378.647		
				у _{max}	13.245	18.464	15.411	26.324	26.876	20.667		
				х _{max}	8.457	8.918	11.255	13.247	13.247	9.136		
		24		1.5	σ _{max}	311.203	290.258	377.819	286.593	338.874	363.707	
					у _{max}	15.785	16.274	20.322	16.146	22.512	21.569	
					х _{max}	9.171	10.736	10.613	8.058	14.016	14.92	
2.0	σ _{max}		299.367	311.155	336.458	280.154	450.177	303.714				
	у _{max}		14.736	13.233	12.582	12.297	24.952	33.939				
	х _{max}		8.863	8.583	11.924	8.183	9.384	14.605				
2.4	σ _{max}	339.034	352.119	383.476	543.823	566.251	338.085					
	у _{max}	13.706	23.685	24.899	27.481	34.078	16.488					
	х _{max}	9.875	17.154	8.483	16.977	13.715	12.698					
28	2.0	σ _{max}	299.023	367.795	441.982	344.967	520.441	313.326				
		у _{max}	12.858	15.705	26.649	31.54	38.936	21.697				
		х _{max}	9.147	16.748	20.672	8.818	12.594	21.478				
	2.4	σ _{max}	299.143	328.283	346.302	386.768	444.586	320.474				
		у _{max}	13.553	16.648	23.521	18.108	14.417	23.567				
		х _{max}	12.567	16.57	15.363	22.944	14.394	31.759				

Таблиця 3.9 Матеріали: еластичний елемент каучук сіліконовий, підложка поліетилен

Матеріал дроту	Мідь	Титан	Перехресна	Крок обплетення h, мм	Довжина L, мм	Діаметр, мм	Товщина стілки t, мм	Параметри	Тиск, МПа					
									0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
Сталь вуглецева	Одностороння	10	80	20	1.5	σ_{\max}	280.019	285.8	306.325	301.018	341.713	295.672		
						y_{\max}	15.917	17.199	25.14	31.118	25.484	25.862		
						x_{\max}	10.425	15.437	14.87	22.888	22.976	26.976		
					2.0	σ_{\max}	294.31	287.578	311.887	331.712	373.942	305.349		
						y_{\max}	14.068	15.41	23.392	20.793	21.434	32.327		
						x_{\max}	8.912	11.932	12.435	9.568	16.394	14.011		
					2.4	σ_{\max}	299.143	328.283	346.302	386.768	444.586	320.474		
						y_{\max}	15.317	18.266	24.674	29.562	39.426	40.689		
						x_{\max}	9.975	8.526	8.013	23.123	11.869	28.118		
					24	1.5	σ_{\max}	339.034	352.119	383.476	543.823	566.251	338.085	
							y_{\max}	13.706	23.685	24.899	27.481	34.078	16.488	
							x_{\max}	9.875	17.154	8.483	16.977	13.715	12.698	
		2.0		σ_{\max}		297.369	350.857	312.891	391.792	476.558	473.902			
				y_{\max}		16.91	13.629	12.361	29.959	39.063	39.644			
				x_{\max}		11.155	14.824	15.507	13.319	24.166	15.909			
		2.4		σ_{\max}		306.589	359.975	313.942	443.485	427.5	550.936			
				y_{\max}		15.234	22.432	16.099	20.905	22.563	26.323			
				x_{\max}		9.625	10.015	9.876	25.879	13.553	24.802			
		28		1.5		σ_{\max}	299.023	367.795	441.982	344.967	520.441	313.326		
						y_{\max}	12.858	15.705	26.649	31.54	38.936	21.697		
						x_{\max}	9.147	16.748	20.672	8.818	12.594	21.478		
				2.0	σ_{\max}	280.62	366.279	363.327	304.303	514.252	544.326			
					y_{\max}	14.142	12.432	17.629	25.813	13.749	29.026			
					x_{\max}	9.728	9.172	11.629	14.629	16.719	18.95			
2.4	σ_{\max}		298.914	314.266	285.868	362.111	316.898	348.11						
	y_{\max}		12.768	19.96	19.772	14.786	19.772	32.134						
	x_{\max}		8.742	8.629	9.422	15.768	8.229	9.822						
30	20		1.5	σ_{\max}	303.893	288.829	289.873	375.171	283.48	288.389				
				y_{\max}	12.527	18.914	20.66	12.235	26.158	17.221				
				x_{\max}	8.338	9.364	10.205	14.419	13.265	17.578				
	2.0	σ_{\max}	284.345	304.145	292.291	287.941	366.001	378.647						
		y_{\max}	13.245	18.464	15.411	26.324	26.876	20.667						
		x_{\max}	8.457	8.918	11.255	13.247	13.247	9.136						
	2.4	σ_{\max}	311.203	290.258	377.819	286.593	338.874	363.707						
		y_{\max}	15.785	16.274	20.322	16.146	22.512	21.569						
		x_{\max}	9.171	10.736	10.613	8.058	14.016	14.92						
	28	24	1.5	σ_{\max}	310.585	319.694	347.824	440.513	604.861	339.754				
				y_{\max}	14.847	18.204	19.455	25.343	23.343	25.158				
				x_{\max}	8.493	9.971	12.019	12.987	15.988	19.867				
2.0		σ_{\max}	299.367	311.155	336.458	280.154	450.177	303.714						
		y_{\max}	14.736	13.233	12.582	12.297	24.952	33.939						
		x_{\max}	8.863	8.583	11.924	8.183	9.384	14.605						
2.4		σ_{\max}	299.143	328.283	346.302	386.768	444.586	320.474						
		y_{\max}	13.553	16.648	23.521	18.108	14.417	23.567						
		x_{\max}	12.567	16.57	15.363	22.944	14.394	31.759						
2.0		σ_{\max}	318.808	405.224	281.059	397.277	602.656	697.05						
		y_{\max}	14.602	17.872	23.485	17.812	30.093	22.915						
		x_{\max}	9.739	8.157	13.617	9.319	9.169	11.567						
2.4	σ_{\max}	302.032	321.391	333.082	342.963	444.565	332.911							
	y_{\max}	14.922	17.696	20.902	20.902	20.926	35.904							
	x_{\max}	9.202	8.691	9.995	13.229	12.275	16.142							

ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 3

1. Дослідження показали, що використані матеріали дозволяють створити цілком працездатну конструкцію захватного пристрою.
2. Механічні властивості пристрою можливо значно покращити при використанні композитних матеріалів. Нажаль, інформація про їх механічні властивості відсутня в базі даних CAD “Inventor”.
3. Для подальшого використання доцільно використати матеріал еластичного елемента – каучук силіконовий, для підложки – пластик ПВХ.

РОЗДІЛ 4

МОДЕЛЮВАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ НА ПРИВОД ЗАХВАТНОГО МЕХАНІЗМУ

Отримані в попередньому розділі значення деформацій та напружень можна використати при побудові моделі в пакеті Matlab засобами модуля SimMechanics.

Розглянемо навантаження, що діють в кожному елементі ланцюга захватного механізму (рис. 4.1)

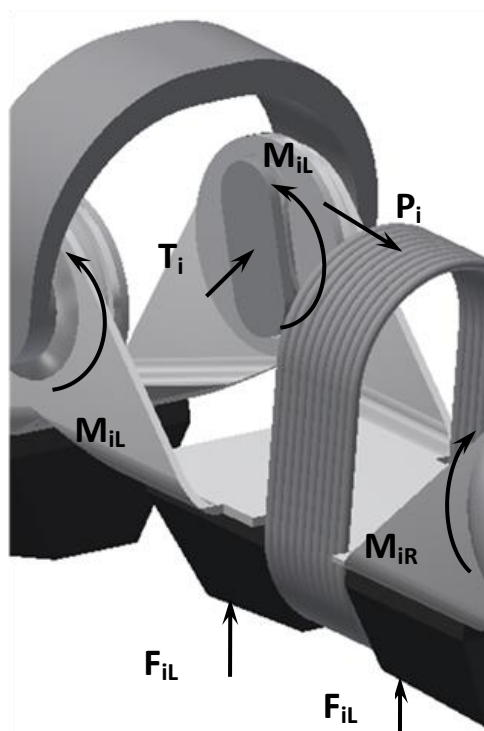


Рис. 4.1 Схема навантаження елемента ланцюга захватного механізму

Елемент ланцюга знаходиться під дією сили, яка виникає при деформації еластичного елемента на рис. 4.1 позначена як P_i . Зі сторони об'єкту моделювання на елемент ланцюга дають сили затиску F_{iL} та F_{iR} . З боку інших елементів ланцюга розташованих раніше і пізніше діють пари моментів M_{iL} та M_{iR} відповідно.

Якщо розглянути всі сили, що діють в системі (рис.4.2) то очевидно, що сили затиску, що діють на елементи з боку об'єктів, що затискаються

постійно змінюють свою величину в залежності від кута, на який розвертається елемент в залежності від кута закручування еластичного елемента.

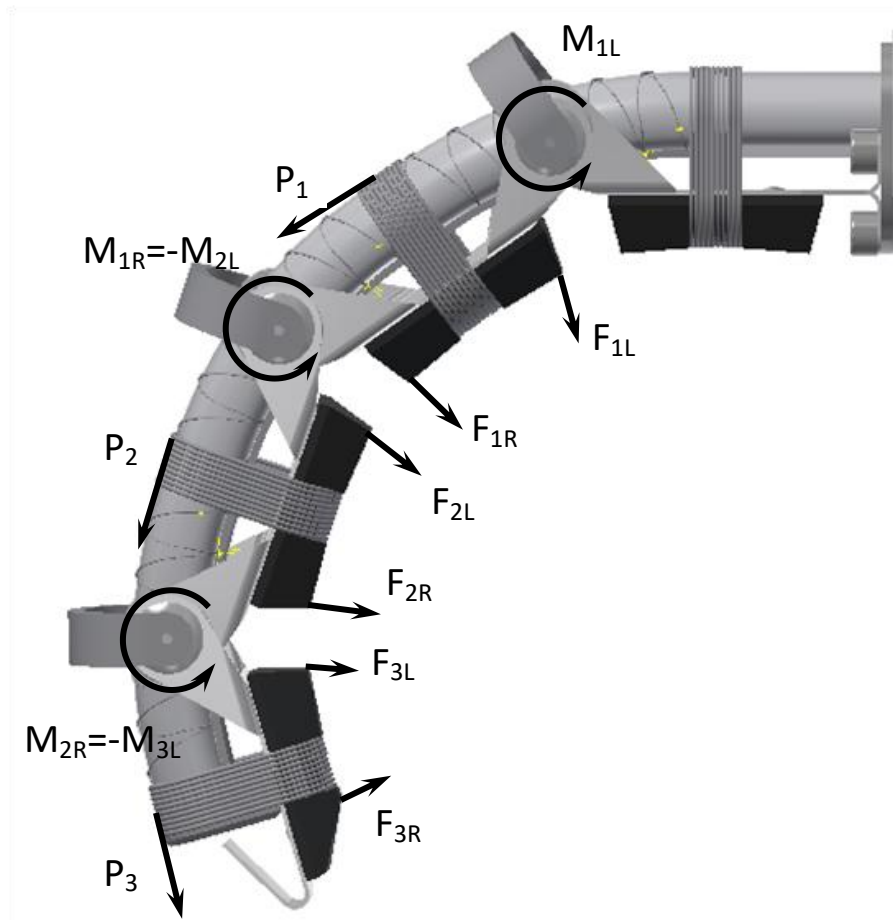


Рис. 4. 2 Система сил, що діють в ланцюзі механізму захвата

На основі розрахункової схеми (рис. 4.2) була побудована модель в пакеті Matlab засобами модуля SimMechanics пакету. Так як деталі ланцюгу захватного механізму мають малі інерційні властивості то вони при побудові моделі не враховувалися. Розрахункова процедура пакету SimMechanics представлена на рис. 4.3.

Модель містить три підсистеми:

- підсистему визначення геометричних характеристик та положення елементів ланцюга;
- підсистему визначення величин зусиль, які діють на елемент ланцюга з боку еластичного елемента;

- підсистему визначення величини сили затиску, що діє на затискні поверхні елемента ланцюга.

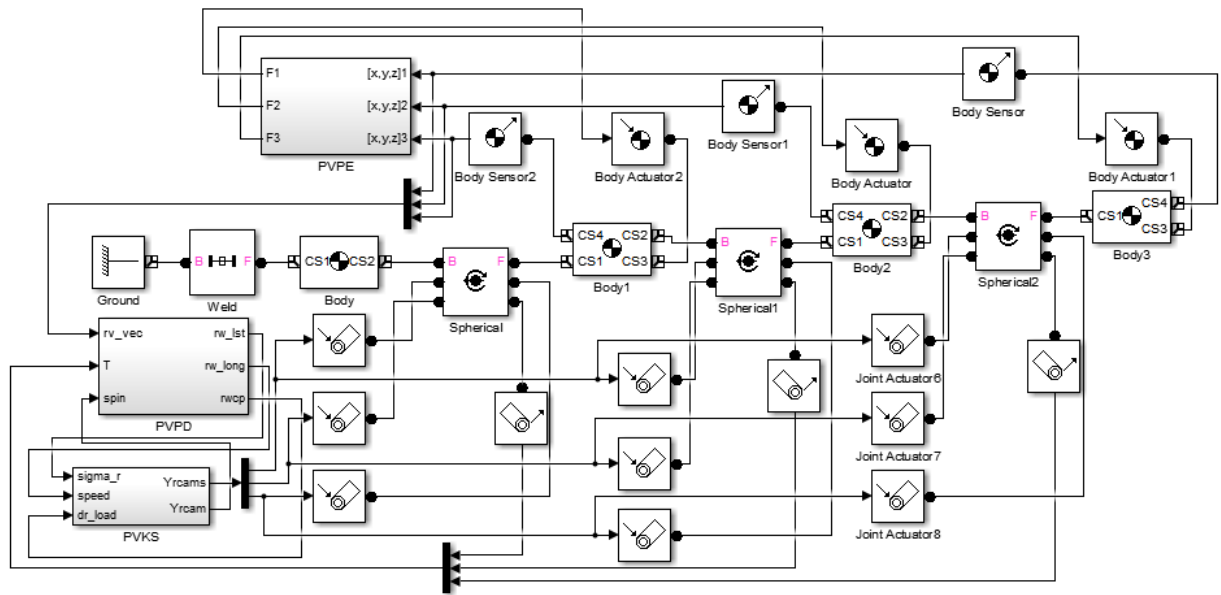


Рис. 4.3 Модель ланцюга елементів механізму захвата

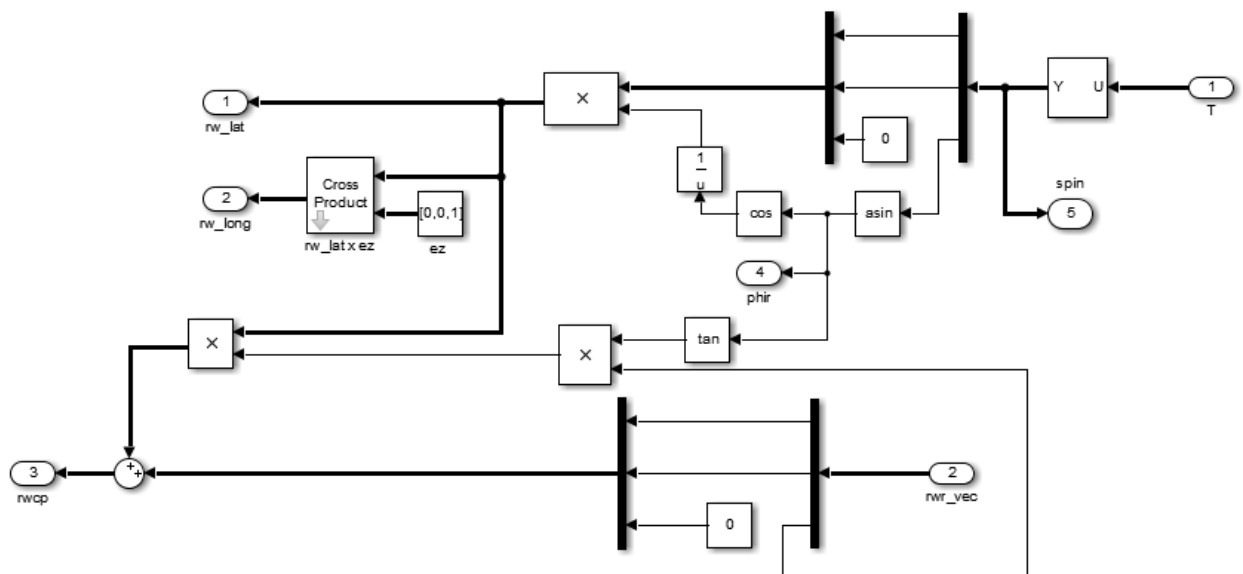


Рис. 4.4 Підсистема визначення величин зусиль, які діють на елемент ланцюга з боку еластичного елемента

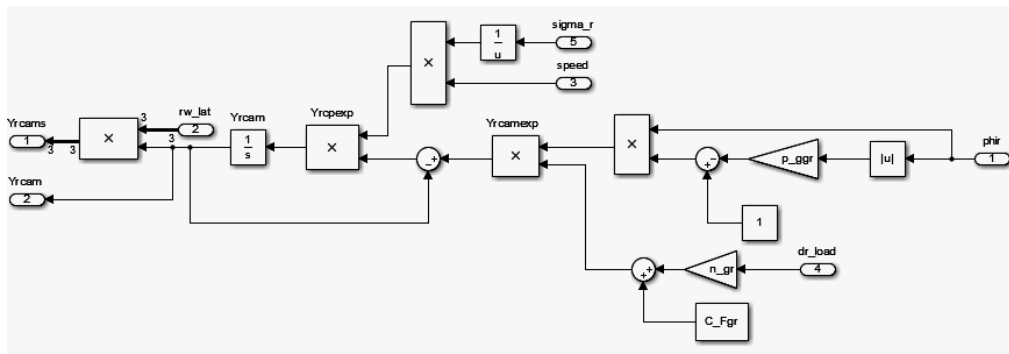


Рис 4.5 Підсистема визначення геометричних характеристик та положення елементів ланцюга;

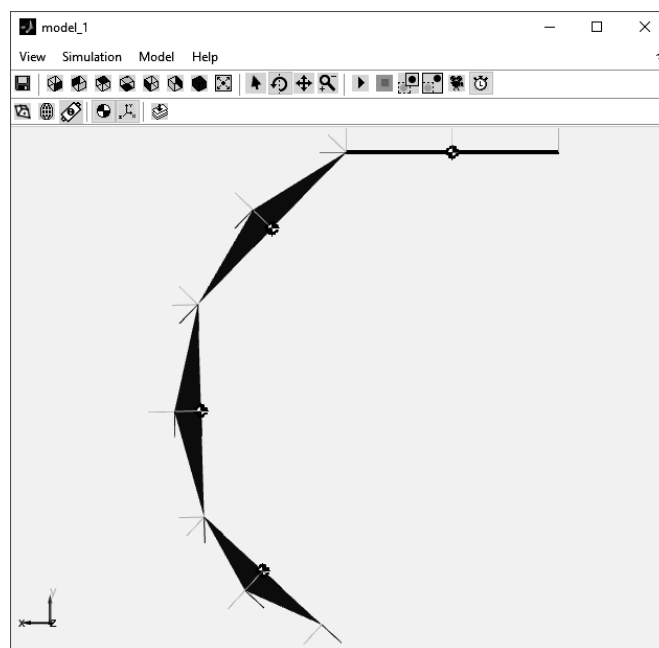


Рис. 4.6 Вікно анімації руху ланцюга елементів механізму захвата

ВИСНОВКИ

1. Сучасний етап розвитку промислових роботів та маніпуляторів вимагає розробки нових підходів до проектування їх механізмів та пристосувань;
2. Розвиток систем керування та алгоритмів їх функціонування вимагає нових підходів до розробки їх основних механізмів, що забезпечують підвищення швидкодії та точності;
3. Затискні механізми є одними з ключових елементів які в великій мірі впливають на кінцеву точність позиціонування об'єктів маніпулювання та на швидкодію процесу маніпулювання;
4. Розробка технологій з використанням нових матеріалів при виготовленні елементів затискних механізмів та нових, нетрадиційних фізичних принципів роботи цих механізмів є нагальною задачею.
5. Запропонована конструкція захватного пристрою містить ряд переваг у порівнянні з аналогічними конструкціями, зокрема для створення нової конфігурації достатньо замінити еластичний елемент елементом більшої довжини і додати певну кількість затискних модулів.
6. Розроблено цілий ряд варіантів захватних пристроїв для вирішення задач надійного затиску об'єктів різної форми, розмірів та маси.
7. При використанні пристроїв зі значною кількістю затискних елементів значно збільшуються витрати стисненого повітря. Дещо виправити ситуацію можливо зменшивши кількість затискних елементів у ланцюгу і за рахунок цього скоротивши об'єм порожнини еластичного елемента.
8. Дослідження показали, що використані матеріали дозволяють створити цілком працездатну конструкцію захватного пристрою.
9. Механічні властивості пристрою можливо значно покращити при використанні композитних матеріалів. Нажаль, інформація про їх механічні властивості відсутня в базі даних CAD "Inventor".
10. Для подальшого використання доцільно використати матеріал еластичного елемента – каучук силіконовий, для підложки – пластик ПВХ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Іванов А.А. Основи робототехніки: навч. посібник / А. А. Іванов; НГТУ ім. Р.Є. Алексєєва. – Нижній Новгород, 2011. – 200 с. – ст. 42 – [1]
2. Беянин, П. Н. Промышленные роботы. - М. : Машиностроение, 1975. - 398 с.
3. Козырев, Ю. Г. Промышленные роботы. Справочник металлиста, т.5. - М. : Машиностроение, 1978. - 673 с.
4. Малов, А. Н. Автоматические грузочные устройства. Справочник металлиста. Т.5. - М. : Машиностроение, 1978. - 673 с.
5. Бобров, В. П. Автоматизация транспорта. Справочник металлиста. Т.5. - М. : Машиностроение, 1978. - 673 с.
6. А.с. № 549311 СССР. Захватное устройство / Ю. М. Буянов - Опубл. в Б. И. 1977, № 9.
7. Бобров, В. П. Проектирование грузочно-транспортных устройств к станкам и автоматическим линиям, - М. : Машиностроение, 1964. - 291 с.
8. FlexShapeGripper. Gripping modelled on a chameleon's tongue // Режим доступу: www.festo.com/bionic – [8]
9. FlexShapeGripper. Gripping modelled on a chameleon's tongue // Режим доступу: www.festo.com/bionic – [9]
10. RG6 Gripper Datasheet // Режим доступу: www.festo.com/bionic – [10]
11. RG6 Gripper Datasheet // Режим доступу: www.festo.com/bionic – [11]
12. MultiChoiceGripper // Режим доступу: www.festo.com/bionic – [12]
13. MultiChoiceGripper // Режим доступу: www.festo.com/bionic – [13]
14. Беянин, П. Н. Промышленные роботы западноевропейских стран: обзор зарубежного опыта. - М. : НИАТ, 1976. - 171 с.
15. Gripping Tool for Industrial Robot. Каталог фирмы ASEA (Швеция), 1975.
16. Беянин, П. Н. Промышленные роботы западноевропейских стран: обзор зарубежного опыта. - М. : НИАТ, 1976. - 171 с.
17. Gripping Tool for Industrial Robot. Каталог фирмы ASEA (Швеция), 1975.

18. Лундстрем, Г. Захватывающие устройства промышленных роботов. Материалы симпозиума фирмы "Ретаб" (на русском языке), Швеция, изд. фирмы, 1976.
19. РТМ 2 РОО-1-78. Конструктивные исполнения захватных устройств промышленных роботов для металлорежущих станков.- М. : ЭНИМС. 1978. - 36 с.
20. Заявка Японії №3226219В2.
21. Заявка Японії №08300285А.
22. Заявка Японії №534965А
23. Патент США №3343864А
24. Патент США №3601442А
25. Патент США №3640564А
26. Патент США №3924519А
27. Патент США №4815782А
28. Патент США №4944755А
29. Патент США №5083498А
30. Патент США №2002157388А1
31. Патент США №2006028041А1
32. Патент США №2014109560А1
33. Патент ВОІВ №2015191585А1
34. Патент ВОІВ №2016154355А1